EXPLORANDO A DIVERSIDADE GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE *Coffea canephora*:

UMA ABORDAGEM AVANÇADA COM FENOTIPAGEM DIGITAL E O LANÇAMENTO INOVADOR DA CULTIVAR *MAGNUS GRANO*

Priscila Gonçalves Figueiredo de Sousa

Ano 2024

EXPLORANDO A DIVERSIDADE GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE *Coffea canephora*:

UMA ABORDAGEM AVANÇADA COM FENOTIPAGEM DIGITAL E O LANÇAMENTO INOVADOR DA CULTIVAR *MAGNUS GRANO*

Priscila Gonçalves Figueiredo de Sousa

Ano 2024

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Explorando a diversidade genética de genótipos de *Coffea canephora*: uma abordagem avançada com fenotipagem digital e o lançamento inovador da cultivar *Magnus Grano*

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: A autora
Autora: Priscila Gonçalves Figueiredo de Sousa

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S725 Sousa, Priscila Gonçalves Figueiredo de
Explorando a diversidade genética de genótipos de Coffea canephora: uma abordagem avançada com fenotipagem digital e o lançamento inovador da cultivar *Magnus Grano* / Priscila Gonçalves Figueiredo de Sousa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-2279-2
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.792242401

1. Cultivo de café. I. Sousa, Priscila Gonçalves Figueiredo de. II. Título.

CDD 633.73

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DA AUTORA

A autora desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declara que participou ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certifica que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DECLARAÇÃO DA EDITORA

DEDICO

Aos meus pais Edmilson e Celma,

Aos meus irm*ãos* Lucas e Sara.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido a graça da realização desse sonho e por tudo que Ele faz em minha vida;

Aos meus pais Edmilson e Celma por não medirem esforços para realização dos nossos sonhos, por estarem sempre presentes mesmo a distância, pelas infinitas orações, pelo apoio, incentivo e conselhos a cada dia;

Aos meus irmãos Lucas e Sara pela amizade e companheirismo a cada dia;

A toda minha família pelos ótimos momentos desfrutados juntos nos períodos de férias em casa;

Ao meu orientador Henrique Duarte Vieira por ter acreditado em mim, pelos ensinamentos, conselhos e orientação durante todos esses anos;

Aos professores Coorientadores, Alexandre Pio Viana, Fábio Luiz Partelli e Daniela Barros de Oliveira por serem sempre solícitos em ajudar e orientar e também pelo apoio na execução dos experimentos;

A Eileen, pela amizade e por ter pego na minha mão por diversas vezes para ajudar nos experimentos e na escrita dos artigos, por me acalmar em momentos de tensão e dizer que vai dar tudo certo, minha eterna gratidão!

Às técnicas de laboratório Marcela Boechat e Silvia Menezes de Faria Pereira, por toda ajuda com os equipamentos do laboratório durante a execução dos experimentos, foram fundamentais para que tudo fosse feito de maneira correta;

A Universidade Estadual Norte Fluminense, pela oportunidade de realização de um sonho;

Ao CNPq pela concessão da bolsa;

A FAPES pela parceria junto a Universidade Federal do Espírito Santo juntamente com o professor Fábio Luiz Partelli;

Ao pessoal da UFES pela ajuda na coleta do material vegetal para a realização dos experimentos;

Ao pessoal do laboratório de sementes pela ótima convivência;

Aos amigos da UENF pelos bons momentos vividos fora da Universidade;

A Ruth, amiga-irmã, obrigada pela convivência maravilhosa que tivemos durante esse período, pela amizade que só aumentou, pela parceria de sempre, pelo apoio em tudo e por estar sempre perto e presente;

Aos amigos de Imperatriz que mesmo longe estão sempre presentes;

Agradeço a cada um que se envolveu, participou e me amparou na realização desse sonho.

Graduou-se em Engenharia Agronômica pela Universidade Estadual do Maranhão (2014), concluindo seu mestrado em Produção Vegetal com ênfase em Tecnologia e Produção de Sementes e Grãos em 2016, seguido pelo doutorado em 2023, ambos pela Universidade Estadual Norte Fluminense UENF.

Experiência acadêmica inclui período como professora substituta na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, onde ministrou disciplinas como Olericultura, Fruticultura, Sistemas de Produção de Arroz, Feijão, Soja e Milho, além de Produção Orgânica de Hortaliças. Atuou no Instituto Estadual do Maranhão - IEMA, lecionando disciplinas de Meio Ambiente e Manejo de Solos. No Instituto Federal do Tocantins - IFTO, ministrou disciplinas como Tecnologia de Sementes, Culturas Anuais, Avicultura, Piscicultura, Equinocultura e Construções Rurais.

Atualmente, é membro como pesquisadora do grupo de pesquisas e difusão de tecnologia em *Coffea Canephora* da Universidade Federal do Espírito Santo UFES. E desempenha o papel de professora substituta na Universidade Estadual da Região Tocantina (UEMASUL).

É com grande satisfação que apresentamos este livro, uma obra que mergulha nas intricadas nuances da produção de *Coffea canephora*, uma cultura que o Brasil se destaca como o segundo maior produtor do mundo. Este trabalho não apenas ilumina o cenário do cultivo, mas oferece uma perspectiva única sobre a quantificação da diversidade genética e o aprimoramento da produção, utilizando abordagens inovadoras.

O *Coffea canephora*, amplamente conhecido e utilizado em blends e na produção de café solúvel, é o protagonista desta investigação. Sua alta variabilidade genética, essencial para o desenvolvimento de novas variedades, é avaliada através de descritores morfológicos associados à qualidade do café. Destaca-se, neste contexto, o tamanho do grão, uma característica física de importância crucial para a classificação do café.

Este livro narra a jornada dos pesquisadores que, enfrentando a imprecisão e lentidão da classificação manual, abraçaram a revolucionária técnica de imagem digital para potencializar a eficiência na identificação e classificação de grãos. A utilização do GroundEye®, um equipamento inovador, permitiu a avaliação precisa de quatro repetições de 50 grãos e frutos para cada tratamento, gerando resultados que foram compilados e analisados pelo software especializado.

O cerne deste estudo foi a busca por quantificar a diversidade genética em 43 clones de *C. canephora* por meio da estratégia Ward-MLM. Além disso, o livro explora a estimativa de parâmetros genéticos e correlações a partir da fenotipagem digital de grãos e frutos. Um destaque especial é reservado à seleção meticulosa de cinco genótipos, escolhidos por sua notável combinação de grãos maiores e elevada produtividade, resultando no lançamento da cultivar Magnus Grano.

O experimento, conduzido em uma lavoura composta pelos 43 genótipos, revelou uma variabilidade genética considerável, evidenciada pela superioridade da variância genotípica sobre a variância ambiental em todas as variáveis analisadas. A análise de ward-mlm revelou distâncias genéticas significativas, indicando a promissora oportunidade de cruzamentos entre grupos específicos de genótipos.

A análise de correlação fenotípica não apenas revelou interações complexas entre as variáveis, mas também destacou a eficiência das variáveis analisadas pela fenotipagem digital de sementes na detecção da divergência genética entre os 43 clones de *C. canephora*. Os resultados apontaram que as variáveis de área, diâmetro máximo e mínimo são cruciais na seleção para obtenção de genótipos de grãos maiores.

Ao apresentar a cultivar Magnus Grano, resultado da cuidadosa seleção desses genótipos por cafeicultores no Estado do Espírito Santo, este livro não apenas contribui para a compreensão da diversidade genética, mas também fornece valiosas informações para impulsionar a produtividade e a qualidade do café em terras brasileiras.

Convidamos os leitores a explorar este fascinante universo, onde a ciência se encontra com a tradição, e onde a inovação floresce nos campos férteis da cafeicultura brasileira.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

Coffea canephora, conhecida popularmente como Conilon ou Robusta, é a segunda espécie de café mais produzida no mundo (ICO, 2022), e o Brasil é o segundo maior produtor desta espécie, representando cerca de 20% da produção mundial (CONAB, 2022). O café Conilon ainda possui um grande espaço a ocupar, pois o mesmo pode apresentar uma bebida diferenciada, com características sensoriais próprias ao invés de atuar apenas na produção de blends (Vignoli; Bassoli; Benassi, 2011).

A produção e demanda do *C. canephora* tem aumentado significativamente nos últimos anos, pois além de sua maior participação nos blends ainda confere à bebida maior teor de sólidos solúveis, maior rendimento industrial e oferece uma bebida mais encorpada (Ivoglo et al., 2008; Lima Filho et al., 2012, 2015; Teixeira et al., 2016), essa mistura diminui os custos e pode compor até 60% dos blends, atualmente essa cultura corresponde por 1/3 do comércio global de café (Davis et al., 2019).

E, para que seja ofertado um produto com maior qualidade é necessário observar o conjunto de processos que vão desde o desenvolvimento e melhoramento das variedades, manejo, cuidados com a colheita e pós-colheita e características de grãos.

C. canephora é uma espécie que se reproduz por alogamia obrigatória devido à sua característica de autoincompatibilidade gametofítica (Moraes et al., 2018). Portanto há alta variabilidade genética, resultando em plantas com diferentes potenciais (Ramalho et al., 2016; Bergo et al., 2020).

Em programas de melhoramento genético a presença de variabilidade genética é condição básica e necessária para se obter ganhos genéticos com seleção (Babova et al., 2016), visto que os estudos de diversidade genética podem guiar a escolha de genitores para a composição de variedades clonais (Marcolan e Espíndula., 2015).

Sendo assim, o estudo da variabilidade genética é essencial em um programa de melhoramento, já que os cruzamentos envolvendo pais geneticamente divergentes podem induzir a maiores efeitos heteróticos e maior variabilidade, permitindo a construção de populações com uma base genética mais ampla e assim proporcionando maiores ganhos (Cecon et al., 2008; Cruz et al., 2012).

Para estimar a variabilidade genética pode utilizar tanto descritores morfológicos quanto marcadores moleculares. Em relação aos descritores morfológicos associados à qualidade do café, o tamanho do grão é uma característica física de grande importância para a classificação do café durante o beneficiamento e formação de lotes homogêneos, pois no mercado de grãos, os de maiores tamanhos são associados aos cafés de melhor qualidade e maior preço. Porém, para ter acesso a informações precisas sobre o nível de DNA, são utilizados os marcadores moleculares, visto que os mesmos são de grande utilidade para o melhoramento genético (Ferrão et al., 2015), pois não são influenciados pelo ambiente e não se alteram durante o ciclo de vida do indivíduo (Collard e Mackill,

2008). Diversos estudos podem ser auxiliados por meio dos marcadores moleculares em café, como de diversidade genética, resistência a doenças, direcionamento de cruzamentos e certificação de cruzamentos de interesse para o melhoramento (Caixeta et al., 2016).

Entre as diferentes classes de marcadores moleculares, os microssatélites SSR (*Simple Sequence Repeat*), são os preferidos para aplicações e estudos genéticos no melhoramento de plantas, principalmente devido a sua natureza multialélica, herança codominante e transferibilidade entre espécies (Decroocq et al., 2003), facilidade de detecção pela PCR, abundância relativa e cobertura extensiva do genoma (Li et al., 2002).

Já para estimar a variabilidade genética utilizando os descritores morfológicos os pesquisadores começaram a usar a técnica de imagem digital para aumentar a eficiência na classificação, considerando que a técnica de imagem é a prática mais eficiente na classificação de grãos, e com os avanços da tecnologia da computação, tornou-se possível avaliar características morfológicas de sementes e grãos relacionadas a cor, textura e geometria através da fenotipagem digital para quantificar a divergência genética, pois a mesma é uma técnica rápida, confiável, não destrutiva (Santos et al., 2015; Krause et al, 2017).

Com isso, o objetivo desse trabalho foi quantificar a diversidade genética a partir da fenotipagem digital de grãos de 43 genótipos de *C. canephora*, e ainda lançar a cultivar Magnus Grano que é composta por cinco genótipos de *C. canephora*, que apresentam alta produtividade, os grãos apresentam tamanhos maiores e os genótipos mostraram boa adaptação ao cultivo.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *COFFEA CANEPHORA*: IMPORTÂNCIA, PRODUÇÃO E USOS

O gênero *Coffea* possui mais de 124 espécies (Davis et al. 2011), mas o comércio global de café depende, principalmente, de duas espécies: Arábica (*Coffea arabica*) compreendendo 64% do café comercializado e Conilon ou robusta (*Coffea canephora*), os 37% restantes (ICO, 2022).

O Brasil é reconhecido mundialmente como o maior produtor de café, e a cafeicultura desempenha um papel crucial na geração de empregos e renda no país. Os estados de Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo se destacam como os maiores produtores nacionais desse grão (CONAB, 2022).

Em 2021, o Brasil manteve sua posição como maior produtor mundial de café, com um total de 47,72 milhões de sacas beneficiadas (60 kg). Essa commodity é de grande importância nas transações internacionais, e o Brasil continua liderando as exportações mundiais do grão. A região sudeste do país é responsável por mais da metade da produção nacional, com cerca de 40,52 milhões de sacas beneficiadas. No Estado do Espírito Santo, a produção em 2021 foi de 14,17 milhões de sacas beneficiadas, com uma área de cultivo de 400.442 hectares (CONAB, 2022).

O café é conhecido como uma das bebidas mais populares ao redor do mundo e além disso é uma mercadoria comercial muito importante, ficando atrás apenas do petróleo em relação ao valor e à quantidade comercializada em todo o mundo (Sunarharum et al., 2014). O cultivo do café gera cerca de 80 bilhões de dólares por ano e envolve cerca de 125 milhões de pessoas em todo o mundo em sua cadeia de produção. Ao redor do mundo são consumidas cerca de 600 bilhões de xícaras de café anualmente, tornando-se a segunda bebida mais consumida no mundo, ficando atrás apenas da água (Bliska et al., 2007).

É indiscutível a importância do café na economia mundial, pois ele é um dos produtos primários mais valiosos comercializados (Sakiyama et al., 2015). A cafeicultura é uma atividade agrícola importante na geração de empregos, distribuição de renda e exportação, sendo assim fundamental para a economia brasileira (Belan et al., 2011).

Abordar o termo cafeicultura é contextualizar seus números em nível global, os quais colocam o Brasil como protagonista principal. É falar de um produto que contribuiu para o desenvolvimento nacional desde 1727, quando as primeiras mudas de café foram plantadas no país; é também destacar que o café gera em torno de oito milhões de empregos diretos e indiretos; e que, por força desses números, o Brasil é o maior produtor, maior exportador e segundo maior consumidor mundial da bebida.

O *C. canephora* é bastante utilizado na indústria de café solúvel devido ao maior teor de sólidos solúveis, porém sofre discriminação por parte dos setores de café torrado, moído e expresso, pois no Brasil, acredita-se que o mesmo apresenta baixa qualidade inerente à espécie e difícil de ser modificada (Brige et al., 2019). Apesar disso, a constante

mudança de preços na cafeicultura está fazendo com que este café seja cada vez mais utilizado pelas torrefadoras em *blends* (mistura) com o arábica (Zeferino et al., 2010). De acordo com estudos realizados por Mendes (2005), foi constatado que *blends* contendo até 50% de *C. canephora* de boa qualidade não comprometem a qualidade final desejada pelo consumidor.

Com o aumento da demanda pelo *C. canephora*, o ambiente favorável, a tecnologia aliada à grande diversidade genética e a adaptabilidade são fatores que sugerem que pode ser feita uma seleção de materiais de alta qualidade adaptados aos diferentes ambientes (Fonseca, 2006). Desse modo, devido a busca constante por qualidade, o setor cafeeiro vem se reinventando intensamente, agregando valor ao produto oferecido com base na qualidade e análise sensorial.

2.2 ORIGEM, DISPERSÃO E BOTÂNICA

O gênero *Coffea* pertence à família *Rubiaceae*, possui mais de 124 espécies, e as que se destacam são *C. arabica* e *C. canephora*, especialmente por seu uso comercial (Davis et al., 2006).

O *C. canephora* é uma espécie perene, de porte arbustivo, possui caules lenhosos, chegando a atingir 5 m de altura em locais de clima quente e úmido. Suas folhas são elípticas, lanceoladas, com bordas bem onduladas e nervuras bem salientes. As flores são brancas, em grande quantidade por inflorescência e por axila foliar. Suas inflorescências são formadas a partir das gemas seriadas localizadas de forma aleatória nas axilas das folhas de ramos laterais, que se formam na estação de crescimento do ano corrente, de forma que a floração depende estritamente dos ramos plagiotrópicos (Mota et al, 1997).

Os frutos, apresentam coloração verde quando imaturos e podem ser vermelhos ou amarelos quando amadurecidos (Belan et al., 2011). São derivados de um ovário e caracterizados como uma drupa elipsoide, carnoso, com duas lojas e duas sementes, apresentando epicarpo, que é a casca propriamente dita, mesocarpo carnoso e rico em mucilagem (pectinas e açúcares) e endocarpo (ou pergaminho) fibroso e lignificado no final de sua formação, na fase de expansão durante o crescimento do fruto (Melo, 2011).

As sementes do cafeeiro são do tipo recalcitrante, com tamanho, casca e peso inferior ao do café arábica. Possuem duas lojas no ovário, que podem ou não ser fertilizados. Se apenas um óvulo é fertilizado o mesmo ocupará todo o volume do fruto, formando as sementes classificadas como moca que apresentam formato arredondado. O endosperma da semente do café é córneo (duro), esverdeado claro, encoberto com um envoltório delicado, conhecido como película prateada (pergaminho) (Carvalho e Monaco, 1965). O embrião é pequeno, possuindo cerca de 2 mm, fica localizado na base do endosperma, sendo constituído por duas folhas cotiledonares (Carvalho e Monaco, 1965).

O *C. canephora* apresenta produção bienal, pois a emissão de inflorescências e frutificação são descritas em dois anos consecutivos, sendo que no primeiro ano ocorre a formação vegetal, seguida da indução e maturação das gemas florais e no segundo ano fenológico ocorre a florada, formação de chumbinhos e expansão dos frutos até a maturação (De Camargo, 2001).

A diversidade dessa espécie foi descrita por Berthaud em (1986), em que foi dividida em dois grupos de acordo com seus centros de diversidade. O grupo Guineano em que compreende os genótipos do oeste africano e o grupo Congolês que compreende os genótipos da região central da África. O grupo Congolês durante o processo de domesticação e melhoramento foi levado para outros locais e estruturado em cinco subgrupos denominados SG1, SG2, B, C e mais recentemente o grupo UW, composto por acessos selvagens da Uganda (Musoli et al., 2009), justificando assim a maior variabilidade genética presente nessa espécie.

O subgrupo SG1 contempla os genótipos que ocorrem do Benin ao Gabão, denominados de café Conilon, que se destacam por ser o subgrupo de melhor adaptação no Brasil e está presente nas principais variedades desenvolvidas no país. O subgrupo SG2 (oriundos da região da República Democrática do Congo), B (República Centro-Africana) e C (Camarões), compreendem os genótipos conhecidos como café robusta. Esses cafeeiros possuem plantas mais altas, vigorosas, folhas e frutos maiores, resistência à ferrugem do café e apresentam maior sensibilidade à seca (Marraccini et al. 2012).

O *C. arabica* é uma planta alotetraploide (2n= 4x = 44), e o *C. canephora* é uma espécie alógama, diploide com 2n= 22 cromossomos, que compõe populações com grande variabilidade, sendo sua polinização realizada preferencialmente pelo vento e também realizada por insetos em menor intensidade, a fecundação cruzada ocorre entre indivíduos geneticamente não relacionados. A autoincompatibilidade de *C. canephora* está associada a um único *locus* identificado pela letra S do inglês “Sterility locus”, possuidor de uma série alélica composta por três genes, que interagem em um sistema gametofítico, controlando o crescimento do tubo polínico. Quando o fator S tanto do pólen quanto do estilo são iguais, não há compatibilidade, e o tubo polínico não penetra no ovário, não ocorrendo a fertilização (Conagin; Mendes, 1961; Berthaud, 1980; Lashermes et al., 1996).

Uma planta é considerada como autoincompatível, quando a mesma é fértil, porém, de alguma maneira, rejeita o próprio pólen, evitando assim consanguinidade (Asquini et al., 2011). Esta reação está relacionada com o não desenvolvimento do tubo polínico ao longo do estilete, pois este possui o mesmo alelo do pólen. Esta paralisação no crescimento é devido à ação de ribonucleases que degradam o RNA ribossômico impedindo o crescimento do tubo polínico (Castric e Vekemans, 2004).

Diante disso, o plantio de genótipos não compatíveis pode aumentar a taxa de grãos tipo moca e diminuir a produtividade de grãos. Na cafeicultura clonal, quando há o plantio de clones não compatíveis, a produtividade e a qualidade dos grãos da lavoura podem

ser comprometidas devido ao isolamento de plantas não compatíveis. Na composição de uma cultivar clonal, os clones devem ser selecionados considerando sua capacidade de polinização (Ferrão et al., 2007).

De acordo com estudos realizados por Ferrão et al. (2008), observaram em campo, de maneira prática que os clones de *C. canephora* que amadurecem nos meses de abril, maio e junho são denominados de clones de ciclo precoce, intermediário e tardio, respectivamente.

Para o seu bom desenvolvimento, a temperatura ideal está entre 22 e 26ºC (Damatta e Ramalho, 2006), podendo ainda tolerar temperaturas entre 37ºC durante o dia e 30ºC à noite, sendo que temperaturas superiores a 42ºC de dia e 34ºC à noite causam efeitos deletérios irreversíveis na fotossíntese dessas plantas (Martins et al., 2016; Rodrigues et al., 2016).

Na região de origem ou de alta diversidade genética das espécies de café a precipitação é superior a 2.000 mm e bem distribuída, com uma estação seca de dois a três meses, alta umidade relativa, temperaturas médias anuais em torno de 26ºC, com temperatura máxima e mínima variando entre 30ºC e 21ºC (Coste, 1992).

2.3 DIVERSIDADE GENÉTICA DE *COFFEA CANEPHORA*

A espécie *C. canephora* possui floração gregária, muito comum em espécies autoincompatíveis, essa floração acontece em sincronia nos indivíduos de determinada região. No café a florada ocorre geralmente 6 a 10 dias após as chuvas (pelo menos 10 mm de água) ou do retorno da irrigação após um período de estiagem (Ferrão et al., 2007).

A heterogeneidade genética e fenotípica das plantas de *C. canephora* é de grande valor para os programas de melhoramento genético, visto que serve como fonte de genes que podem ser utilizados para criar novos clones. Porém, para os cafeicultores, essa heterogeneidade fenotípica da lavoura é totalmente indesejada, pois os tratos culturais tornam-se difíceis de ser executados devido às variações entre vigor, porte, arquitetura, maturação, diferença de produtividade entre as plantas. Essas características geralmente são encontradas em cafezais obtidos a partir de sementes (Ivoglo, 2007).

Visando amenizar essa diferença fenotípica entre as plantas de uma lavoura gerada a partir de sementes e sua desuniformidade é comum a formação de lavouras com variedades clonais propagadas por estacas a partir de clones “elites” (Melo, 2011). É importante lembrar que no caso do *C. canephora* essas lavouras devem ser compostas por várias cultivares compatíveis geneticamente para a lavoura produzir.

A utilização de cultivares clonais e a necessidade do plantio de diferentes cultivares geneticamente compatíveis reforçam a necessidade dos estudos genéticos em *C. canephora* (Alekcevetch et al., 2013).

Para isso são feitos estudos utilizando os marcadores moleculares. O uso dos mesmos para detectar polimorfismo ao nível de DNA é um dos desenvolvimentos mais significativos nas técnicas de biologia molecular. Os marcadores moleculares são mais vantajosos que os fenotípicos, pois apresentam maior ganho nas características de interesse e também por não apresentarem influência do meio ambiente, e o fato de poder ser feito em qualquer estágio de desenvolvimento da planta (Gartner et al., 2013).

O estudo da variabilidade genética é essencial em um programa de melhoramento, já que os cruzamentos envolvendo pais geneticamente divergentes podem induzir a maiores efeitos heteróticos e maior variabilidade, permitindo a construção de populações com uma base genética mais ampla e assim proporcionando maiores ganhos (Cecon et al., 2008; Cruz et al., 2012).

2.4 FENOTIPAGEM DIGITAL

A fenotipagem digital de sementes e grãos pode ser empregada para quantificar a diversidade genética entre os genótipos de uma mesma espécie, e essa quantificação acontece por meio de captura e análise de imagens que proporcionam a elaboração de gráficos e planilhas sobre o material estudado Torres (2018).

Ter informações sobre divergências genéticas de uma população é primordial para qualquer programa de melhoramento, pois as mesmas facilitam na diferenciação de acessos, identificação de genótipos contrastantes e realização de futuros cruzamentos e servem de banco de dados para identificação de possíveis grupos com maior grau de heterose (Silva et al, 2014).

A análise digital é considerada um método viável além de conseguir resultados rápidos, é um método com baixo custo, podendo ser utilizado em diversas áreas, como as indústrias de alimentos e na agricultura (Andrade et al., 2016).

De acordo com Patel et al. (2012), os sistemas de visão computacional são tecnologias de engenharia que combinam mecânica, instrumentação óptica, câmera digital e tecnologia de processamento de imagem. Esses sistemas empregam métodos que permitem ao computador extrair conteúdos relevantes a partir de imagens e interpretar suas características mais significativas para alcançar os objetivos de classificação, avaliação e detecção de defeitos (Gomes; Leta, 2012).

A visão computacional é uma técnica que utiliza um sistema composto por iluminante, câmera digital e software de processamento de imagem para extrair e analisar informações úteis de uma imagem, conjunto de imagens ou sequência de imagens. O sistema computacional avalia as imagens baseado nos pixels, fornecendo uma análise mais especializada e detalhada (Yam; Papadakis, 2004).

A fenotipagem de sementes via análise visual é um processo trabalhoso que produz resultados subjetivos, dificultando ainda mais a análise de sementes para fins comerciais

e tecnológicos. No entanto, hoje novas tecnologias para ambientes controlados como espectroscopia, termografia, tomografia, fluorescência, discriminação isotópica e imagem digital técnicas estão sendo empregadas para aumentar a precisão e reduzir o tempo necessário para medidas fenotípicas para melhor caracterização (Santos e Yassitepe, 2014).

A análise e o processamento de imagens digitais viabilizam a precisão e rapidez das mensurações fenotípicas, além de proporcionar maior confiabilidade dos resultados obtidos pelos melhoristas (Cortes et al., 2017; Maciel et al., 2019; Clemente et al., 2021). Como a classificação de grãos é imprecisa e trabalhosa, os pesquisadores têm utilizado a técnica de imagem para aumentar a eficiência na classificação, levando assim à consideração de que a técnica de imagem é a prática mais eficiente na classificação de grãos de café.

No Brasil, com o intuito de realizar capturas de imagens, histogramas e gráficos que facilitem a análise de sementes e plântulas, a empresa Tbit desenvolveu o equipamento Groundeye® System Mini em 2011 (Andrade et al., 2016; Ferreira et al., 2018).

Com a utilização do sistema GroundEye® foi possível processar informações contidas nas sementes, o que seria difícil a olho nu, pois existe a interferência da subjetividade do pesquisador. As informações extraídas nas avaliações são de alta precisão, segurança e confiabilidade, e como estão armazenadas em bancos de dados podem ser facilmente acessadas. (Melo 2022).

Em diversas espécies o uso da fenotipagem por imagem tem sido utilizada auxiliando na seleção de plantas (Souza et al., 2015; Maciel et al., 2019; Clemente et al., 2021).

Existem várias pesquisas que aplicaram o uso do processamento de imagens, e uma delas é a pesquisa utilizada por Abreu et al. (2016), em que fizeram análise computadorizada para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de café submetidas à secagem e concluíram que a utilização de imagem através da análise do programa SAS é uma alternativa viável e promissora para avaliar a viabilidade e vigor de sementes e mudas de café.

Como um resultado, traços que nunca foram medidos antes ou que só foram medidos em situações começam a ser mensurados com mais frequência (Fiorani e Schurr, 2013) e com maior facilidade, por exemplo, características relacionadas ao tamanho, cor, forma e textura da semente.

Venora et al. (2007) também relataram que a análise de imagens é um método rápido que requer menos de um minuto para digitalização e medição. É também uma técnica muito facilmente reproduzível, além de ser confiável e não destrutiva.

E, de acordo com Armstrong e Saxena (2014), a aplicação do processamento de imagens na agricultura deve ser utilizada, pois demonstra eficiência e precisão em práticas como classificação e inspeção, diminuindo a incerteza dos dados.

2.5 TAMANHO DE GRÃOS

Diariamente, milhares de pessoas espalhadas pelo mundo inteiro consomem café, e essa bebida carrega consigo diferentes nuances e características, e devido a isso o mercado está sempre à procura de novas maneiras de ofertá-lo, seja ele por blends, cafés expressos ou gourmets, sendo que ele pode ser ofertado na forma moída ou em grãos.

O café Conilon é a principal fonte de renda para milhões de pequenos agricultores em todo o mundo, e o preço que os agricultores podem obter pelo café é fortemente influenciado por características dos grãos, principalmente em relação ao tamanho e à ausência de defeitos.

Para estabelecer um preço justo, o café é geralmente classificado usando três métodos: i) tipo e defeitos, ii) tamanho do grão (peneira) e iii) qualidade da bebida (Brighenti e Cirillo, 2018). É importante que os cafeicultores compreendam os fatores que afetam as características do grão de café, pois isso determina o preço pelo qual eles podem vender sua produção.

Diversas estratégias têm sido implementadas com a finalidade de incentivar o consumo de café entre diferentes camadas sociais, para Spers et al (2004), o incentivo na melhoria da qualidade do produto tem colaborado para novas formas de consumo. Segundo Lucia et al (2007), tem-se verificado a importância de se observar em quais critérios o consumidor se fundamentava para escolher, comprar e consumir determinado produto. Dentre esses fatores, o tamanho do grão está diretamente ligado à qualidade física do grão buscada pelos consumidores que têm preferência por comprar o grão e moer ao invés de comprar o café moído.

E, para que seja ofertado um produto com maior qualidade é necessário observar o conjunto de processos que vão desde o desenvolvimento e melhoramento das variedades, manejo e os cuidados com a colheita e pós-colheita. E, um dos critérios usados para classificar um café verde como especial é a análise de acordo com a uniformidade do grão, que é feita através da utilização de diferentes peneiras, cor, forma e tipos de grãos (Drumond Neto, 2017). Além da classificação de acordo com a bebida, o mercado de cafés especiais seleciona o café Conilon por peneiras, e apenas os grãos separados por peneira 14 acima são comercializados com valor de café especial (Pereira et al., 2016).

A classificação por peneiras atende principalmente a demanda do mercado de exportação que busca um produto mais uniforme e além disso, essa classificação por peneiras é um processo importante para garantir a qualidade do café, e um dos principais motivos para essa separação é a diferença na uniformidade no momento da torração do café, pois os grãos menores tendem a torrar em tempos diferentes dos grãos maiores (Oliveira; Oliveira; Freitas, 2019), e com isso a separação por peneiras melhora a execução da torra, melhorando em contrapartida a qualidade do café (Baggenstoss et al., 2008; Pereira et al., 2016). E, de acordo com Sturm (2012), a classificação por peneiras proporciona

homogeneidade da amostra, o que vai impactar diretamente no processo de torrefação, pois o fato de se ter tamanhos diferentes de grãos durante a torra, pode acarretar uma torração rápida e desuniforme, onde grãos mais arredondados (mocas) absorvem o calor de forma mais acelerada que os grãos chatos, culminando na formação de sabores e aromas desagradáveis para a bebida do café (Matiello et al., 2002).

A oferta do café em grãos é a forma mais original do café, ou seja, os grãos só passaram pelo processo de torrefação até chegar ao consumidor. Como o café é um produto muito sensível ao oxigênio, o mesmo oxida muito rápido, principalmente quando já está moído, e por isso, quando ele está na forma de grãos ele preserva o sabor e aroma original, além de ter uma vida útil maior em relação ao café já moído.

Assim, trabalhos sobre diferentes genótipos, realizados por meio de ensaios de competição no campo, somados a diversas análises da planta e análises laboratoriais de grãos e que possibilitem a obtenção de cultivares que apresentem grãos maiores para oferecer um produto final de maior qualidade são de fundamental importância para dar continuidade ao trabalho que já vem sendo desenvolvido de forma prática por cafeicultores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, L.A.S., Andrade, D.B., Marques, E.R., Assis, J.G.R., Lopes, C.A., Carvalho, M.L.M.C. (2016) Computerized analysis in the physiological quality of coffee seeds. *International Journal of Current Research*. 8(11):40820-40823.

Alekcevetch, J.C. (2013) *Estudo da diversidade genética, por meio de marcadores moleculares de uma população de Coffea canephora var. Conilon*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 92 p.

Andrade, D.B., Oliveira, A.S., Pinto, C.A.G., Pires, R.M.O. (2016) Detection of green seeds in soybean lots by the seed analysis system (SAS). *International Journal of Current Research*. 8(26):462-26,465.

Asquini, E., Gerdol, M., Gasperini, D., Igic, B., Graziosi, G., Pallavicini, A. (2011) S-RNase-like Sequences in Styles of Coffea (*Rubiaceae*). Evidence for S-RNase Based Gametophytic Self-Incompatibility. *Tropical Plant Biology* 4:237–249.

Babova, O., Occhipinti, A., Maffei, M.E. (2016) Chemical partitioning and antioxidant capacity of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of different geographical origin. *Phytochemistry,* 123:33-39.

Baggenstoss, J., Poisson, L., Kaegi, R., Perren, R., Escher, F. (2008) Coffee roasting and aroma formation: Application of different time-temperature conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14):5836-5846.

Belan, L.L., Silva, K.G., Tomaz, M.A., Jesus Junior, W.C.de., Amaral, J.A.T., Amaral, J.F.T. (2011) Aspectos Fisiológicos Do Cafeeiro Conilon: Uma Abordagem Sistemática. *Nucleus,* 8: 225-240.

Bergo, C.L.L., et al. (2020) Estimation of genetic parameters and selection of *Coffea canephora* progenies evaluated in Brazilian Western Amazon. *Coffee Science*, e151663.

Berthaud, J. (1980) Incompatibility in *Coffea Canephora*: test method and genetic determinism. *Cafe Cacao*, 24(4):267-274.

Berthaud, J. (1986) *Les ressources génétiques pour l'amériolations des caféiers africains diploides. Evaluation de la richesse génétique des populatons sylvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour lápplication*. Paris, 379p.

Brige, F.A.A., Celestino, S.M.C., Amabile, R.F., Fagioli, M., Delvico, F.M.dos S., Montalvão, A.P.L., Sala, P.I.A.L. (2019) Genetic variability in Conilon coffee related to grain attributes in an irrigated crop in the Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 54:e00358

Brighenti, C.R.G., Cirillo, M.A. (2018). Analysis of defects in coffee beans compared to biplots for simultaneous tables. *Revista Ciência Agronômica,* 49(1):62-69.

Caixeta, E.T., Borém, A. (2016) *Tipos de marcadores moleculares. Marcadores Moleculares*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 9–93.

Carvalho, A., Monaco L.C. (1965) Natural cross polination in Coffea arábica. In: International Horticultural Congress, 26. *International Horticultural Congress Society*, 20:787-804.

Castric, V., Vekemans, X. (2004) Plant self-incompatibility in natural populations: A critical assessment of recent theoretical and empirical advances. *Molecular Ecology* 13:2873-2889.

Cecon, P.R., Silva, F.F., Ferreira, A., Ferrão, R.G., Carneiro, A.P.S., Detmann, E., Faria, P.N., Morais, T.S.D.S. (2008) Análise de medidas repetidas na avaliação de clones de café "Conilon." *Pesquisa Agropecuária Brasileira,* 43:1171-1176.

Clemente, A.A., Maciel, G.M., Siquieroli, A.C.S., Gallis, R.B.A., Pereira, L.M., Duarte, J.G. (2021) High-throughput phenotyping to detect anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids in red lettuce germplasm. International *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 103:102533.

Collard, B.C.Y., Mackill, D.J. (2008) Marker-assisted selection: An approach for precision plant breeding in the twenty-first century. Philosophical Transactions of the Royal Society B: *Biological Sciences* 363:557-572.

Companhia Nacional De Abastecimento - CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira de café* – Safra 2021. 2021. Brasília. Available in:. Access in: Mar, 24, 2022.

Conagin, C.H.T.M., Mendes, A.J.T. (1961) Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*. Auto-incompatibilidade em *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. *Bragantia*, 20(34):787-804.

Coste, R. (1992) *Coffea: the plant and the product*. London: Macmillan, 328 p.

Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. (2012) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Ed. da UFV, 514p.

Damatta, F.M., Ramalho, J.D.C. (2006) Impacts of drought and temperature stress on coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology,* 18:55-81.

Davis, A.P., Govaerts, R., Bridson, D.M., Stoffelen, P. (2006) An annotated taxonomic conspectus of the genus Coffea (*Rubiaceae*). *Botanical Journal of the Linnean Society* 152:465–512.

Davis, A.P., Chadburn, H., Moat, J., O'Sullivan, R., Hargreaves, S., and Lughadha, E. N. (2019). High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. Sci. Adv. 5, eaav3473. doi: 10.1126/sciadv.aav3473

De Camargo, Â.P., De Camargo, M.B.P. (2001) Definição e Esquematização das Fases Fenológicas do Cafeeiro Arábica nas Condições Tropicais do Brasil. *Bragantia* 60:65-68.

Decroocq, V., Favé, M.G., Hagen, L., Bordenave, L., Decroocq, S. (2003) Development and transferability of apricot and grape EST microsatellite markers across taxa. *Theoretical and Applied Genetics,* 106:912–922.

Drumond Neto, A.P. (2017) *Qualidade física e sensorial de grãos de Coffea canephora Pierre Ex. Froehner de diferentes ambientes.* Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Alegre, ES, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 77p.

Ferrão, L.F.V., Caixeta, E.T., Pena, G., Zambolim, E.M., Cruz, C.D., Zambolim, L., Ferrão, M.A.G., Sakiyama, N.S. (2015) New EST–SSR markers of Coffea arabica: transferability and application to studies of molecular characterization and genetic mapping. *Molecular Breeding*. Short Comunication, 31-35.

Ferrão, R.G., Cruz, C.D., Ferreira, A., Cecon, P.R., Ferrão, M.A.G., Fonseca, A.F.A., Carneiro, P.C.de S., Silva, M.F.da. (2008) Parâmetros genéticos em café Conilon Genetic parameters in Conilon coffee. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:61–69.

Ferreira, A.F.N., Krause, W., Faleiro, A.C., Miranda, A.F., Acha, A.J. (2018) Seleção de descritores de sementes de maracujazeiro azedo utilizando fenotipagem digital. *Agrarian Academy*, 5(10):, p.181-187.

Fonseca, A.F.A, Sediyama, T., Cruz C.D., Sakiyama N.S., Ferrão, M.A.G., Ferrão, R.G., Bragança, S.M. (2006) Divergência genética em café Conilon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira,* 41:599-605.

Gartner, G.A.L., Mccouch, S.R., Moncada, M.D.P. (2013) A genetic map of an interspecific diploid pseudo testcross population of coffee. *Euphytica*, 192:305-323.

Gomes, J.F.S., Leta, F.R. (2012) Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review*. European Food Research and Technology*, 235(6):989-1000.

ICO - INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. *Trade statistic tables*. Disponível em :< http://www.ico.org/trade_ statistics.asp>. Acesso em: 5 set. 2022.

Ivoglo, M.G., Fazuoli, L.L.C., Oliveira, A.C.B., Gallo, P.B., Mistro, J.C., Silvarolla, M.B., Braghini, M.T. (2008) Divergência genética entre progênies de café robusta. *Bragantia*, 67(4):823-831.

Krause, W., Viana, A.P., Cavalcante, N.R., Ambrósio, M., Santos, E.A., Vieira, H.D. (2017) Digital phenotyping for quantification of genetic diversity in inbred guava (*Psidium guajava*) families. *Genetic and Molecular Research*, 16:1-11.

Lashermes, P., Couturon, E., Moreau, N., Paillard, M., Loaurn, J. (1996) Inheritance and genetic mapping of self-incompatibility in *Coffea canephora* Pierre. *Theoretical and Applied Genetics*, 93(3):458-462.

Li, Y.C., Korol, A.B., Fahima, T., Beiles, A., Nevo, E. (2002) Microsatellites: genomic distribution, putative functions and mutational mechanisms: a review. *Molecular Ecology*, 11:2453- 2465.

Lucia, S.M.D., Minim, V.P.R., Silva, C.H.O., Minim, L.A. (2007) Fatores da embalagem de café orgânico torrado e moído na intenção de compra do consumidor. *Ciência Tecnologia de Alimentos*. 27(3):485-491.

Maciel, G.M., Siquieroli, A.C.S., Gallis, R.B.de A., Pereira, L.M., Sales, V.F. (2019) Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels. *The International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 81:154–160.

Matiello, J.B., Santinato, R., García, A.W.R., Almeida, S.R., Fernandes, D.R. (2002) *Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ. 580p.

Marracini, P., Vinecky, F., Alves, G.S.C., Ramos, H.J.O., Elbelt, S., Vieira, N.G., Carneiro, F.A., Suji, P.S., Alekcevetch, J.C., Silva, V.A., Damatta, F.M., Ferrão, M.A.G., Leroy, T., Pot, D., Vieira, L.G.E., Silva, F.R., Martins, C.M., Xavier, G.R., Rumjanek, N.G. (2003) *Utilização de RAPD como marcador molecular em plantas*. Embrapa Agrobiologia. Documentos, 166, Seropédica, 39p.

Marcolan, A.L., Espindula, M. (2015) *Café na Amazônia*. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 474p.

Martins, M.Q., Rodrigues, W.P., Fortunato, A.S., Leitão, A.E., Rodrigues, A.P., Pais, I.P., Martins, L.D., Silva, M.J., Reboredo, F.H., Partelli, F.L., Campostrini, E., Tomaz, M.A., Scotti-Campos, P., Ribeiro-Barros, A.I., Lidon, F.J.C., Damatta, F.M., Ramalho, J.C. (2016) Protective response mechanisms to heat stress in interaction with high [CO2] conditions in *coffea* spp. *Frontiers in Plant Science*, 7:947.

Melo, B.de., Sousa, L.B.de. (2011) Biologia da reprodução de *Coffea arabica*. L. e *Coffea canephora*. *Revista Verde*, Limoeiro, 6(2):1-7.

Melo, S.G.F., Andrade Junior, V.C., Pires, M.R.O., Andrade, D.B., Santana, R.A., Nery, M.C. (2022) Dormancy and evaluation of the physical-physiological quality in sweet potato [Ipomoea batatas (L.) Lam.] seeds by image analysis. *Journal of Seed Sciences*, 44:e202244043.

Moraes, M.S., Teixeira, A.L., Ramalho, A.R., Espíndula, M.C., Ferrão, M.A.G., Rocha, R.B. (2018) Characterization of gametophytic selfincompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. *Genetics and Molecular Research*, 7:1-10.

Mota, J.W.S., Da Mata, F.M., Barros, R.S., Maestri, M. (1997) Vegetative growth in *Coffea arabica* L. as affected by irrigation, daylength and fruiting. *Tropical Ecology*, 38:73-79.

Musoli, P., Cubry, P., Aluka, P., Billot, C., Dufour, M., De Bellis, F., Pot, D., Bieysse, D., Charrier, A., Leroy, T. (2009) Genetic differentiation of wild and cultivated populations: Diversity of *Coffea canephora* Pierre in Uganda. *Genome*, 52:634–646.

Oliveira, G.H.H., Oliveira, A.P.L.R., Freitas, H.M. (2019) Influência da granulometria sobre as propriedades físicas e o tempo de torrefação de grãos de café. In: X Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil 2019, Vitória. Anais [...]. Vitória: Embrapa Café, p. 4.

Patel, K.K., Kar, A.,Jha, S.N., Khan, M.A. (2012) Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. Journal of Food Science and Technology, Trivandrum, 49(2):123-141.

Pereira, L.L., Cardoso, W.S., Silva, L.C., BrioschI, (2016) A. Interação da torra e das peneiras do café na preferência de consumidores. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Gramado – RS, Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 11:14-17.

Pereira, L.L., Moreli, A.P., Júnior, D.B., Sousa, L.H.B.P.S., Marcate, J.P.P., Oliveira, G.F. de O., Debona, D.G., Guarçoni, R.C. (2019) Construção de perfil sensorial para o café Conilon fermentado. *Ciência*, 5(2):242–252.

Ramalho A.R., Rocha R.B., Souza F.F., Veneziano W. et al. (2016) Genetic gain in the productivity of processed coffee from the selection of clones of 'Conilon' coffee. *Revista Ciência Agronomica*, 47(3):516-523.

Rodrigues, W.P., Vieira, H.D., Teodoro, P.E., Partelli, F.L., Barbosa, D.H.S.G. (2016) Assessment of genetic divergence among coffee genotypes by Ward-MLM procedure in association with mixed models. *Genetics and Molecular Research,* 15(2): gmr.15027889

Sakiyama, N., Martinez, E., Tomaz, M., Borém, A. (2015) *Café arábica do plantio a colheita*. Viçosa: Editora UFV, 316p.

Santos, T.T., Yassitepe, J.E.de C.T. (2014) *Fenotipagem de plantas em larga escala: um novo campo de aplicação para a visão computacional na agricultura. Tecnologias da Informação e Comunicação e suas relações com a agricultura*. Parte II - Capítulo 5, p 86-100. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1010708/1/capitulo0508814.pdf Acesso em: 18/12/2022

Silva, G.O., Carvalho, J.O.M., Vieira, J.V., Carvalho, A.D.F. (2014) Parâmetros genéticos para germinação de sementes e produção de raízes de cenoura sob altas temperaturas. *Magistra*, 26:524-531.

Sousa, C.A.F., Cunha, B.A.D.B., Martins, P.K., Molinari, H.B.C., Kobayashi, A.K., Souza Júnior, M.T. (2015) Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. *Revista Brasileira de Geografia Física,* 8(IV SMUD):660-672.

Sunarharum, W.B., Williams, D.J., Smyth, H.E. (2014) Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International,* 62:315–325.

Spers, E.E., Saes, M.S.M., Souza, M.C.M. (2004). Análise das preferências do consumidor brasileiro de café: Um estudo exploratório dos mercados de São Paulo e Belo Horizonte. *Revista de Administração*, 39(1):53-61

Sturm, G.M. (2012) *Qualidade física e sensorial de Coffea canephora relacionadas à altitude, estágio de maturação e preparo pós-colheita*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Alegre – ES, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 83p.

Torres, G.X. (2018) Diversidade genética em população segregante de *Passiflora* via características de sementes. Tese (Mestrado em Produção vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 82p.

Venora, G., Grillo, O., Shahin, M.A., Symons, S.J. (2007) Identification of Sicilian landraces and Canadian cultivars of lentil using an image analysis system. *Food Research International*, 40:161-166.

Vignoli, J.A., Bassoli, D.G., Benassi, M.T. (2011) Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 124(3):863-868.

Yam, K.L., Papadakis, S.E. (2004) A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1):137-142.

Zeferino, L.B., Saraiva, S.H., Cesar Da Silva, L., José, L., Teixeira, Q., Maria, S., Lucia, D. (2010) Efeito da concentração de sólidos solúveis do extrato de café Conilon no índice d refração, na densidade e na viscosidade do extrato. *Enciclopédia Biosfera* 6:1-8.

ARTIGO: DIVERSIDADE GENÉTICA EM GENÓTIPOS DE *COFFEA CANEPHORA* VIA FENOTIPAGEM DIGITAL

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor de *Coffea canephora*, e o mesmo é amplamente utilizado em blends e na indústria de café solúvel. *C. canephora* apresenta alta variabilidade genética e para estimar essa variabilidade genética são utilizados descritores morfológicos associados à qualidade do café, e o tamanho do grão é uma característica física de grande importância para a classificação do café. A classificação manual é conhecida por ser imprecisa e demorada, e por isso os pesquisadores começaram a usar a técnica de imagem digital para aumentar a eficiência na classificação. Com isso**,** o objetivo desse trabalho foi quantificar a diversidade genética em 43 clones de *C. canephora* por meio de estratégia Ward-MLM, estimar parâmetros genéticos e correlações a partir da fenotipagem digital de grãos e frutos. O experimento foi conduzido em uma lavoura composta por 43 genótipos de *C. Canephora*, onde os frutos foram despolpados manualmente e colocados para secar até atingirem 12 % de umidade, com o auxílio do equipamento *GroundEye*®, foram avaliadas quatro repetições de 50 grãos e frutos para cada tratamento, e o *software* gerou planilhas com os resultados das características geométricas. Para analisar a existência de variabilidade genética entre os genótipos, os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, estimativas de parâmetros genéticos, análise de ward-mlm, correlação de Pearson. Verificou-se que a variância genotípica foi superior em relação à variância ambiental em todas as variáveis analisadas, tanto de grãos quanto de frutos, indicando que os genótipos avaliados apresentam alta variabilidade genética. A maior distância genética, foi observada entre os grupos I e IV, indicando situação favorável para realização de cruzamentos entre os genótipos desses grupos. A análise de correlação fenotípica revelou correlações significativas positivas e negativas entre as variáveis. As variáveis analisadas por meio da análise digital de sementes foram eficientes em detectar a divergência genética entre os 43 clones de *C. canephora.* As variáveis área, diâmetro máximo e mínimo são as mais indicadas para realização da seleção para obtenção de genótipos de grãos maiores.

GENETIC DIVERSITY IN GENOTYPES OF *COFFEA CANEPHORA* VIA DIGITAL PHENOTYPING

ABSTRACT

Brazil is the second largest producer of *Coffea canephora*, and it is widely used in blends and in the soluble coffee industry. *C. canephora* presents high genetic variability and to estimate this genetic variability, morphological descriptors associated with coffee quality are used, and grain size is a physical characteristic of great importance for coffee classification. Manual sorting is known to be imprecise and time-consuming, so researchers have started using digital imaging technique to increase sorting efficiency. Therefore, the objective of this work was to quantify the genetic diversity in 43 clones of *C. canephora* using the Ward-MLM strategy, estimate genetic parameters and correlations based on digital phenotyping of grains and fruits. The experiment was conducted in a field composed of 43 genotypes of *C. Canephora*, where the

fruits were manually pulped and placed to dry until they reached 12% moisture, with the aid of the GroundEye® equipment, four replications of 50 grains and fruits were evaluated. For each treatment, and the software generated spreadsheets with the results of the geometric characteristics. To analyze the existence of genetic variability among the genotypes, the data obtained were subjected to analysis of variance, estimates of genetic parameters, ward-mlm analysis, Pearson correlation. It was found that the genotypic variance was higher than the environmental variance in all analyzed variables, both for grains and fruits, indicating that the evaluated genotypes present high genetic variability. The greatest genetic distance was observed between groups I and IV, indicating a favorable situation for carrying out crosses between the genotypes of these groups. Phenotypic correlation analysis revealed significant positive and negative correlations between variables. The variables analyzed through digital seed analysis were efficient in detecting the genetic divergence among the 43 clones of *C. canephora*. The variables area, maximum and minimum diameter are the most suitable for carrying out the selection to obtain genotypes with larger grains.
KEYWORDS: phenotyping, Conilon, GroundEye®**.**

INTRODUÇÃO

Coffea canephora, é a segunda espécie de café mais produzida no mundo, e o Brasil é o segundo maior produtor desta espécie, representando cerca de 20% da produção mundial (ICO, 2022). Diariamente, milhares de pessoas consomem café, a bebida carrega consigo diferentes nuances e características, e o mercado de café está sempre à procura de nova maneiras de oferta-lo, seja por blends, cafés expressos e gourmets. O café Conilon é amplamente utilizado em blends com café arábica e na indústria de café solúvel, devido ao seu maior teor de sólidos solúveis (Ferrão et al., 2019).

C. canephora é uma espécie que se reproduz por alogamia obrigatória devido à sua característica de autoincompatibilidade gametofítica (Moraes et al., 2018). Portanto há alta variabilidade genética, resultando em plantas com diferentes potenciais (Ramalho et al., 2016, Bergo et al., 2020).

Conhecimentos sobre a divergência genética de uma população são essenciais em qualquer programa de melhoramento, pois contribuem na diferenciação de acessos, identificação de genótipos contrastantes para realização de futuros cruzamentos, além de banco de dados para identificação de possíveis grupos com maior grau de heterose (Silva et al., 2014).

Para estimar a variabilidade genética, descritores morfológicos de várias partes da planta podem ser utilizados, como aqueles relacionados a folha, flor, fruto e semente (Krause et al., 2017). Em relação aos descritores morfológicos associados à qualidade do café, o tamanho do grão é uma característica física de grande importância para a classificação do café durante o beneficiamento e formação de lotes homogêneos, pois no mercado de grãos, os de maiores tamanhos são associados aos cafés de melhor qualidade e maior preço.

Como a classificação manual é conhecida por ser imprecisa e demorada, os pesquisadores começaram a usar a técnica de imagem digital para aumentar a eficiência na classificação, considerando que a técnica de imagem é a prática mais eficiente na classificação de grãos, e com os avanços da tecnologia da computação, tornou-se possível avaliar características morfológicas de sementes e grãos relacionadas a cor, textura e geometria através da fenotipagem digital para quantificar a divergência genética, pois a mesma é uma técnica rápida, confiável, não destrutiva (Krause et al, 2017).

A análise de imagens é um método que requer menos de um minuto para digitalização e medição e também é uma técnica muito facilmente reproduzível (Venora et al, 2007).

A empresa Tbit desenvolveu o equipamento Groundeye® System Mini em 2011 com a finalidade de realizar capturas de imagens, histogramas e gráficos que facilitem a análise de sementes, grãos e plântulas (Andrade et al., 2016; Ferreira et al., 2018). A morfometria de frutos e grãos é uma informação útil e importante para fenotipagem e caracterização genética de espécies vegetais com potencial econômico.

Abreu et al. (2016) fizeram análise computadorizada para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de café submetidas à secagem e constataram que a utilização de imagem através da análise do programa SAS (Groundeye®) é uma alternativa viável e promissora para avaliar a viabilidade e vigor de sementes e mudas de café. A aplicação do processamento de imagens na agricultura deve ser utilizada, pois estabelece eficiência e precisão em práticas como classificação e inspeção, diminuindo a incerteza dos dados obtidos (Armstrong e Saxena, 2014).

Nos programas de melhoramento genético existem algumas ferramentas facilitadoras para o trabalho do melhorista, como os parâmetros genéticos e a análise de correlação, pois as estimativas são utilizadas como estratégia de seleção, uma vez que são representativas para a população na qual se está trabalhando. Com isso, o objetivo desse trabalho foi quantificar a diversidade genética em 43 clones de *C. canephora* por meio de estratégia Ward-MLM, estimar parâmetros genéticos e correlações a partir da fenotipagem digital de grãos e frutos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área Experimental

O experimento foi conduzido em uma lavoura composta por 43 genótipos de *C. Canephora*, e a maioria foi selecionada por cafeicultores da região. O plantio foi realizado em abril de 2014 no município de Nova Venécia, região norte do Espírito Santo, Brasil, em propriedade particular localizada a uma latitude 18º66’23” sul e longitude 40º43’07” oeste, e acima de 199m do nível do mar, temperatura média anual é de 23ºC. A região possui clima tropical, caracterizado pelo verão quente e úmido, e inverno seco, classificado como Aw, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). O solo do local é classificado

como Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico e com textura argilosa, com relevo ondulado (Partelli et al, 2021).

Os genótipos foram dispostos em um delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, e cada tratamento foi constituído por sete plantas de cada genótipo. O plantio foi realizado no espaçamento de 3 metros entre linhas e 1 metro entre plantas (3x1), o que equivale a 3.333 plantas por hectare. 42 genótipos são oriundos de propagação clonal via estaquia e apenas o genótipo 39 é oriundo de sementes e ambos foram conduzidos com quatro hastes por planta (Tabela 1).

Os tratos culturais foram feitos conforme as orientações técnicas para cultura e consistiram basicamente no controle de plantas daninhas com herbicidas e roçadeira, manejo fitossanitário preventivo, calagem, adubação e irrigação por gotejamento (Partelli et al, 2021).

Tabela 1. Identificação dos 43 genótipos de *Coffea canephora*. Nova Venécia-ES, 2022

ID	NOME	ID	NOME	ID	NOME
1	Verdim R	**15**	Bamburral	**29**	Tardio C
2	B01	**16**	Pirata	**30**	A1
3	Bicudo	**17**	Peneirão	**31**	Cheique
4	Alecrim	**18**	Z39	**32**	P2
5	700	**19**	Z35	**33**	Emcapa 02
6	CH1	**20**	Z40	**34**	Emcapa 153
7	Imbigudinho	**21**	Z29	**35**	P1
8	AD1	**22**	Z38	**36**	LB1
9	Graudão HP	**23**	Z18	**37**	122
10	Valcir P	**24**	Z37	**38**	Verdim D
11	Beira Rio 8	**25**	Z21	**39**	Sementes
12	Tardio V	**26**	Z36	**40**	Emcapa 143
13	AP	**27**	Ouro Negro	**41**	Ouro negro 1
14	L80	**28**	18	**42**	Ouro negro 2
				43	Clementino

Genótipo 33 pertence à cultivar Emcapa 8111 e genótipos 34 e 40 à cultivar Emcapa 8131 (Bragança et al., 2001). Genótipos 30 e 35 pertencem à cultivar Andina (Partelli et al., 2019), 8, 7, 13, 17, 32, 36 pertencem à cultivar Monte Pascoal (Partelli et al., 2020a), 1, 11, 15, 16, 30 e 43 pertencem à cultivar Tributun (Giles et al., 2019, Partelli et al., 2020b). ID: identificação. Genótipo 9, 33, 29, 12 e 24 pertencem à cultivar Salutar (Partelli et al., 2022).

Fenotipagem digital dos frutos

Com o auxílio do equipamento *GroundEye*®, foram avaliadas quatro repetições de 50 frutos para cada genótipo, os frutos foram dispostos em bandeja acrílica para a captura da imagem, em seguida, por meio do sistema de análise de imagens o *software*

gerou planilhas com os resultados das características geométricas: área (cm²) (F. ÁREA), circularidade (F. CIRCULARIDADE), diâmetro máximo (F. DIÂMETRO MÁX.), diâmetro mínimo (F. DIÂMETRO MÍN.), esfericidade (F. ESFERICIDADE), extensão (F. EXTENSÃO), irregularidade (F. IRREGULARIDADE) e perímetro (cm) (F. PERÍMETRO).

Caracterização do grão

Após a chegada do material, os frutos foram despolpados manualmente, em seguida as sementes ainda com o pergaminho foram colocadas para secar em bandejas de plástico até atingirem 14 a 15% de umidade, determinada com o auxílio do determinador de umidade DOLE 500. Posteriormente foi feita a retirada do pergaminho de cada uma das sementes com auxílio de bisturi e estilete, e em seguida as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados para secagem em estufa de circulação forçada de ar até atingirem 12% de umidade e passarem a ser grãos.

Fenotipagem digital dos grãos

Com o auxílio do equipamento *GroundEye*®, foram avaliadas quatro repetições de 50 grãos para cada tratamento, os grãos foram dispostos em bandeja acrílica para a captura da imagem, em seguida, por meio do sistema de análise de imagens o *software* gerou planilhas com os resultados das características geométricas: área (cm²) (G. ÁREA), circularidade (G. CIRCULARIDADE), diâmetro máximo (G. D. MÁX), diâmetro mínimo (G. D. MÍN), esfericidade (G. ESFERICIDADE), extensão (G. EXTENSÃO), irregularidade (G. IRREGULARIDADE), número de quinas (G. NÚM DE QUINAS) e perímetro (cm) (G. PERÍMETRO).

Caracterização das variáveis do GroundEye®

Área – corresponde à quantidade de espaço que a superfície de um objeto possui.

Circularidade – é um fator de forma circular mais sensível ao alongamento do objeto e com menor dependência a suavidade do contorno. Vale 1 para objetos circulares e menos que 1 para objetos com outras formas, pois qualquer outra forma possuindo mesmo diâmetro máximo possui menor área.

Diâmetro Máximo – é a maior reta que passa pelo centroide da semente em centímetros.

Diâmetro Mínimo – é a menor reta que passa pelo centroide da mostrada em centímetros.

Esfericidade da forma – define o quão circular é o objeto, quanto mais próximo do valor de 12,56 mais o objeto se aproxima da forma da circunferência.

Extensão – também conhecido como retangularidade, representa o quão retangular a forma é.

Irregularidade do contorno - define o nível de afinamento do objeto, sua definição é baseada em uma formalização termodinâmica.

Número de quinas – utiliza o conceito de ponto de interesse ou pontos que representem um máximo local para função da imagem considerada.

Perímetro – é a medida do contorno de um objeto bidimensional, ou seja, a soma de todos os lados de uma figura geométrica.

Análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos

Para analisar a existência de variabilidade genética entre os genótipos, os dados obtidos pela fenotipagem digital de grãos e frutos foram submetidos a análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos.

Modelo estatístico adotado foi:

$$Yij = \mu + Gi + Bj + Eijk$$

Onde:

Yij = observação referente a i-ésimo genótipo na j-ésima repetição**;**

μ = constante geral;

Gi = efeito da i-ésima família, i = 1, 2, ..., g;

Bj = efeito do j-ésimo bloco, j = 1, 2, ..., r;

Eijk = erro experimental.

A partir do modelo, foi possível elaborar o Quadro de análise de variância, e a partir dessa análise foram obtidas as estimativas dos parâmetros genéticos, de variância ambiental (σ^2e), variância fenotípica (σ^2f), variância genotípica (σ^2g), herdabilidade (h^2) e o índice de variação genética (CVg /CVe), considerando as expressões propostas por Cruz et al. (2014):

Variância genotípica entre médias dos genótipos

$$\hat{\sigma}g2 = QMG - QMR / r$$

Onde: QMG é o quadrado médio dos genótipos;

QMR é o quadrado médio do erro;

r é o número de repetições.

Variância fenotípica entre médias dos genótipos $\hat{\sigma}f2=QMG/r$

Variância ambiental entre médias dos genótipos $\hat{\sigma}e2=QMR/r$

Herdabilidade em nível de média dos genótipos $h2=\hat{\sigma}g2/\hat{\sigma}f2$

Índice de variação $Iv=CVg/CVe$

CVg = 100 x raiz quadrada da variância genética / pela média da característica

CVe = 100 x a raiz quadrada da variância ambiental / pela média da característica

Ward-MLM

A quantificação da divergência genética foi realizada através do método Ward-MLM (*Modified Location Model*) propostos por Franco et al. (1998) e empregada por Viana e Resende (2014). Para isso, primeiramente foi utilizado o índice de Gower (1971), gerando a estimativa do índice de dissimilaridade que vária de 0 a 1.

Com base nos critérios do pseudo-F e pseudo-T^2 combinado com o perfil da verossimilhança associado com o teste da razão da verossimilhança foi definido o número ideal de grupos. Posteriormente, foi obtido o gráfico logaritmo da função da verossimilhança, maximizada, conforme o método MLM, para diferentes números prováveis de grupos. De acordo com os picos de verossimilhança para os diferentes números de grupos formados pelo gráfico, definiu-se o melhor número de grupos para a análise. Por último, foi realizada a análise MLM completa para o número de grupos definidos, descrevendo os resultados da classificação, com uma tabela da descrição dos grupos formados e a análise canônica para as variáveis quantitativas, sendo utilizado, para estas últimas o arquivo canfile, onde contém as coordenadas canônicas para as observações. As diferenças entre os grupos, e as variáveis canônicas (VC) foram analisadas graficamente. Todas as análises foram realizadas usando o software estatístico SAS (SAS 2000). Os diagramas foram realizados utilizando o software Sigma Plot, versão 14.0.

Correlação de Pearson

Foi estimado o coeficiente de correlação linear de Pearson das dez variáveis estudadas sendo cinco de grãos e cinco de frutos. Foi utilizado o programa R e o pacote Corrplot para a realização da análise. Os valores limites de r são -1 e +1. Se r= +1 a correlação é perfeita positiva. Se r= -1 a correlação é perfeita negativa e se r= 0 não há correlação entre os pontos, ou a correlação não é linear. A magnitude do coeficiente de correlação pode ser classificada em nula (r = 0), fraca (0 < |r| < 0,30), média (0,30 < |r| < 0,60), forte (0,60 < |r| < 0,90), fortíssima (0,90 < |r| < 1) e perfeita (|r|= 1) (Carvalho et al, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estimativa de parâmetros genéticos em frutos e grãos de C. canephora

Foram selecionadas nove características relacionadas à geometria de grãos e frutos de *C. canephora* para a análise de divergência visando selecionar os genótipos que apresentam frutos e grãos maiores.

Houve diferença significativa entre os genótipos para todas as variáveis analisadas pertinentes a grãos (Tabela 2) e frutos (Tabela 3). Verificou-se que a variância genotípica foi superior em relação à variância ambiental em todas as variáveis analisadas, tanto de grãos quanto de frutos, indicando que os genótipos avaliados apresentam alta variabilidade genética. Dessa forma, pode-se deduzir que há possibilidade de selecionar genótipos com grãos de tamanho maiores baseados nas variáveis geométricas analisadas.

Tabela 2: Resumo da análise de variância para as variáveis Área (ÁREA), Circularidade (CIRC.), Diâmetro máximo (D. MÁX.), Diâmetro mínimo (D. MÍN.), Esfericidade (ESF.), Extensão (EXT.), Irregularidade (IRREG.), Número de Quinas (NUM. QUINAS) e Perímetro (PER.), juntamente com a estimativa de parâmetros genéticos da variância fenotípica, variância ambiental, variância genética, herdabilidade e índice de variação em grãos de *C. canephora*

FV	GL	QM								
		ÁREA	CIRC.	D. MÁX.	D. MÍN.	ESF.	EXT.	IRREG.	NUM. QUINAS	PER.
BLOCOS	3	0,203	0,0032	0,0002	0,00019	46,926	0,00007	0,00092	899,858	0,088
GEN	42	0,334**	0,0655**	0,0834**	0,0426**	126,24**	0,0575**	0,0039**	14566,632**	1,148**
RES	126	0,114	0,0008	0,00016	0,00013	17,841	0,00001	0,00053	439,630	0,041
TOTAL	171									
CV%		8,048	1,25	1,612	1,994	20,644	0,5190	30,043	11,101	7,543
PARÂMETROS GENÉTICOS										
VF		0,004	0,0163	0,0208	0,0106	31,561	0,0143	0,00098	3641,658	0,2871
VA		0,0003	0,00021	0,00004	0,0003	4,460	0,000004	0,00013	109,907	0,0103
VG		0,0074	0,0163	0,0208	0,0106	27,100	0,0143	0,00085	3531,750	0,2768
h^2		99,56	99,87	99,80	99,68	85,868	99,972	86,344	96,981	96,3894
Iv		75,215	13,94	1,128	8,925	1,232	30,105	1,257	2,834	2,5834

*, ** - significativo em 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 3: Resumo da análise de variância para as variáveis Área (ÁREA), Circularidade (CIRC.), Diâmetro máximo (D. MÁX.), Diâmetro mínimo (D. MÍN.), Esfericidade (ESF.), Extensão (EXT.), Irregularidade (IRREG.) e Perímetro (PER.), juntamente com a estimativa de parâmetros genéticos da variância fenotípica, variância ambiental, variância genética, herdabilidade e índice de variação em frutos de *C. canephora*

FV	GL	QM							
		ÁREA	CIRC.	D. MÁX	D. MÍN	ESF.	EXT.	IRREG.	PER.
BLOCOS	3	0,0203	0,00242	0,0024	0,0040	391,160	0,00016	0,0049	2,7311
GENÓTIPOS	42	0,3348**	0,0810**	0,2619**	0,1624**	4691,685**	0,0558**	0,0028**	29,3073**
RESÍDUO	126	0,0114	0,0016	0,0040	0,0034	1357,386	0,00029	0,0035	5,2493
TOTAL	171								
CV%		8,048	4,914	4,554	5,055	62,755	2,292	28,710	27,950
		PARÂMETROS GENÉTICOS							
VF		0,0837	0,0202	0,0654	0,0406	1172,921	0,0139	0,0070	7,3268
VA		0,0028	0,00040	0,0010	0,00086	339,346	0,00007	0,0008	1,3123
VG		0,0808	0,0198	0,0644	0,0397	833,574	0,0138	0,0061	6,0145
h^2		96,5682	97,999	98,4349	97,8839	71,068	99,4655	87,4405	82,0887
Iv		2,6523	3,4991	3,9653	3,4006	0,783	6,821	1,3193	1,0704

*, ** - significativo em 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Por conseguinte, os valores para herdabilidade no sentido amplo foram altos e acima de 80% em quase todas as variáveis, com exceção da Esfericidade em frutos. Para a variável extensão tanto em grãos quanto em frutos, nota-se que quase toda a variação observada é de natureza genética resultando em uma herdabilidade de quase 100%, isso indica que essas características foram menos influenciadas pelo ambiente, podendo trazer resultados eficazes na seleção baseada apenas no fenótipo.

Os Índices de Variação alcançaram valores superiores à unidade, exceto para esfericidade em frutos, (0,783), sugerindo maior influência ambiental em relação às outras variáveis. Isso ocorre porque os frutos e consequentemente os grãos apresentam variações em seus tamanhos e formatos devido às condições ambientais durante o processo de formação dos mesmos. Por outro lado, os maiores valores de IV foram encontrados para as variáveis área e extensão em grãos e extensão e diâmetro máximo em frutos, indicando que a seleção para estes caracteres apresenta as condições mais favoráveis em termos de ganhos genéticos imediatos. O índice de variação é um parâmetro bastante importante para o melhoramento, pois permite identificar características com variações predominantemente associadas a fatores genéticos e não ambientais (Nascimento et al., 2014).

Divergência entre genótipos de C. canephora com base em fenotipagem digital

De acordo com os critérios de pseudo-F e pseudo-t^2, combinados com o perfil da verossimilhança foi determinado em quatro o número ideal de grupos. Esse número foi verificado onde ocorreu maior incremento na função logarítmica, sendo verificado o maior valor absoluto no quarto grupo (Figura 1).
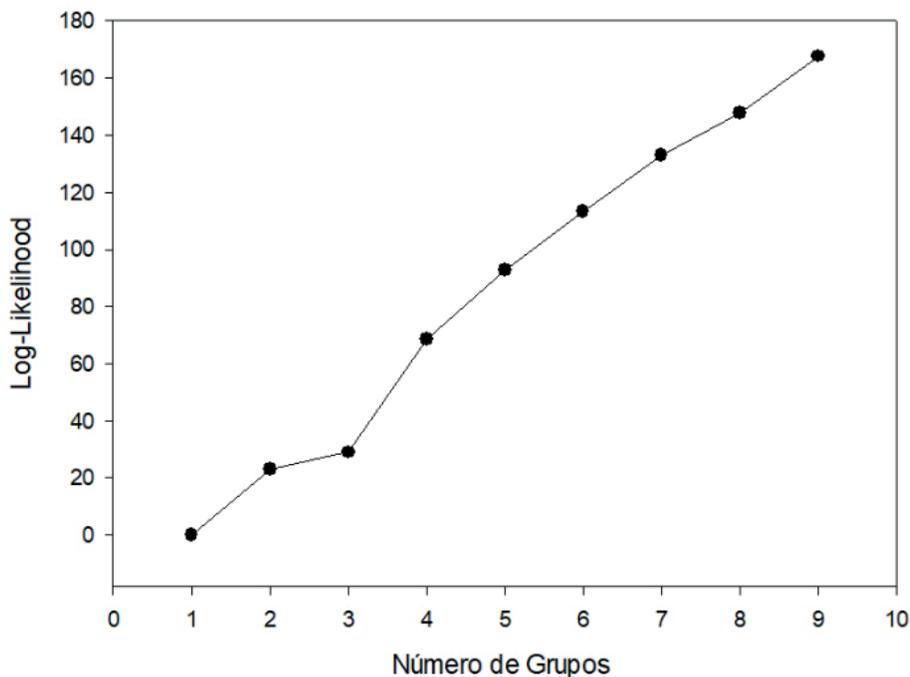
Figura 1 - Gráfico da função logarítmica da probabilidade (Log-likelihood) em relação ao número de grupos formados pela estratégia Ward MLM em grãos e frutos de *Coffea canephora*.

A formação de quatro grupos demonstra que existe variabilidade genética a ser explorada na população e que a utilização das variáveis referentes à geometria, mensuradas por meio da análise digital de sementes foi eficiente na quantificação da divergência genética.

O grupo I foi composto por 17 genótipos, o grupo II apresentou 13, o grupo III conteve 09 genótipos e o grupo IV foi formado por quatro genótipos. As variáveis que mais contribuíram para a divergência genética com base na primeira variável canônica, foram: esfericidade (56%) irregularidade (57%) e afinamento de grãos (50%) (Tabela 4).

O grupo I caracterizou-se por apresentar grãos com as maiores extensões, com maior número de quinas e maior afinamento, além de apresentar frutos com maior esfericidade (Tabela 4). A maioria dos genótipos que pertencem ao grupo I apresentou produtividade e rendimento de médio a alto, com destaque para os genótipos AD1 e L80 que apresentaram produtividade maior que 100 sacas/ha (Tabela 5).

Partelli et al. (2021) avaliaram essa mesma população e encontraram maior porcentagem de sementes por frutos nos genótipos Z36, Ouro Negro 2, P2 e AD1, que apresentaram maior esfericidade de frutos e elevada produtividade nesse estudo.

Silva et al. (2020) estudaram a diversidade de características radiculares nesses mesmos indivíduos e observaram que o genótipo P2 apresentou o maior volume radicular, principalmente concentrado no solo superficial. Isso pode ter contribuído para que esses genótipos tivessem maior capacidade de produzir frutos e grãos com diâmetros maiores.

Tabela 4. Médias das variáveis quantitativas para cada um dos três grupos formados pelo método Ward-MLM e as duas variáveis canônicas, em grãos e frutos de *Coffea canephora*

VARIÁVEIS	GRUPOS				CAN	
	G I	G II	GIII	G IV	CAN I	CAN II
G. ÁREA	0,3512	0,4292	0,4211	0,3175	0,173131	0,69723
G. CIRCULARIDADE	0,7506	0,7731	0,68	0,7925	-0,311236	-0,297117
G. D. MÁX	0,7718	0,8415	0,89	0,7125	0,29108	0,746936
G. D. MÍN	0,5676	0,6346	0,5933	0,555	0,037303	0,498843
G. ESFERICIDADE	17,8841	20,9515	24,0800	27,7150	-0,562638	0,369202
G. EXTENSÃO	0,7906	0,7869	0,7833	0,7825	0,371059	-0,418348
G. IRREGULARIDADE	0,0576	0,0838	0,0978	0,12	-0,576385	0,439309
G. NUM QUINAS	195,669	191,7046	192,6933	167,1575	0,155414	0,010412
G. PERÍMETRO	24,688	29,185	30,844	28,200	-0,250193	0,7832
G. AFINAMENTO	0,7529	0,68	0,6256	0,5875	0,501549	-0,472493
F. ÁREA	12,718	14,862	14,478	11,300	0,2077	0,573342
F. CIRCULARIDADE	0,86	0,8531	0,7644	0,885	-0,218075	-0,489773
F. D. MÁX	13,741	14,908	15,556	12,775	0,262336	0,67339
F. D. MÍN	11,606	12,523	11,722	11,100	0,116307	0,34097
F. ESFERICIDADE	75,9541	70,9931	37,1989	22,2325	0,38711	-0,224035
F. EXTENSÃO	0,7724	0,7685	0,7767	0,7825	-0,20564	-0,054719
F. IRREGULARIDADE	0,2453	0,2562	0,1556	0,1075	0,419295	-0,135833
F. PERÍMETRO	90,976	98,108	68,522	49,400	0,418204	-0,03929

O grupo II apresentou os genótipos com maior área de grãos e frutos, maior diâmetro mínimo de grãos e frutos, maior irregularidade de frutos e maior perímetro (Tabela 1). Os genótipos LB1 e Z21 se destacaram com produtividade de 118,08 e 102,49 sacas/ha, respectivamente.

O grupo III caracterizou-se por apresentar indivíduos com maior diâmetro máximo de frutos e grãos e maior perímetro de grãos. Em relação a produtividade e rendimento, os genótipos que mais se sobressaíram no grupo III foram A1 e Peneirão, com 108,19 e 99,22 sacas/ha cada.

O grupo IV foi constituído pelos genótipos com maior circularidade de grãos e frutos, maior esfericidade e irregularidade de grãos e maior extensão de frutos. Nesse grupo o genótipo Clementino foi o que apresentou maior produtividade, com 97,86 sacas/ha.

Esses resultados são de fundamental importância para selecionar os genótipos mais promissores em relação ao tamanho dos frutos e grãos, com o objetivo de realizar cruzamentos visando à seleção de genótipos de *C. canephora* com grãos maiores aliados à alta produtividade.

Tabela 5. Identificação dos genótipos de cada um dos quatro grupos (GI, GII, GIII e GIV), formados pela estratégia Ward-MLM e rendimento médio em litros de café por saca de 60kg e produtividade dos genótipos de *Coffea canephora*

Grupos	Genótipos	Rendimento	Produtividade
		Litros/saca	Sacas/ha
I	Verdim R	398,32	82,35
	B01	418,21	43,11
	AD1	303,49	128,93
	L80	364,68	105,53
	Bamburral	357,23	86,6
	Z35	402,23	72,48
	Z29	366,61	70,15
	Z37	363,78	86,84
	Z36	316,62	91,45
	18	422,67	49,3
	Tardio C	345,15	74,73
	P2	316,7	92,32
	122	330,03	81,07
	Verdim D	336,65	90,43
	Sementes	218,17	70,32
	Ouro Negro 1	359,87	72,23
	Ouro Negro 2	316,46	74,7
II	Beira rio 8	439,72	61,81
	Tardio V	329,95	69,84
	AP	313,53	86,28
	Z39	339,92	95,48
	Z40	356,18	74,55
	Z18	330,2	80,05
	Z21	294,01	102,49
	Ouro Negro	346,39	75,24
	Cheique	372,10	70,77
	Emcapa 02	323,18	97,1
	P1	332,5	93,47
	LB1	312,21	118,08
	Emcapa 143	312,26	94,65

III	Verdim R	398,32	82,35
	700	303,23	89,19
	CH1	359,87	81,40
	Imbigudinho	324,82	79,67
	Graudão HP	317,59	86,13
	Pirata	379,63	76,22
	Peneirão	326,6	99,22
	A1	365,44	108,19
	Emcapa 153	322,45	85,52
IV	Alecrim	341,46	54,37
	Valcir P	341,11	87,93
	Z38	372,53	74,94
	Clementino	355,48	97,86

Fonte: Partelli et al, 2021.

As duas primeiras variáveis canônicas representaram 82,37% da variância total, o que possibilita explicar de maneira satisfatória a variabilidade existente entre os genótipos de *C. canephora* em um gráfico de dispersão bidimensional (Figura 2). Para que ocorra uma interpretação razoável da variabilidade genética existente entre os genótipos é necessário que as duas primeiras variáveis canônicas apresentem estimativas mínimas de 80% da variação total contida no conjunto de variáveis (Cruz et al, 2012).
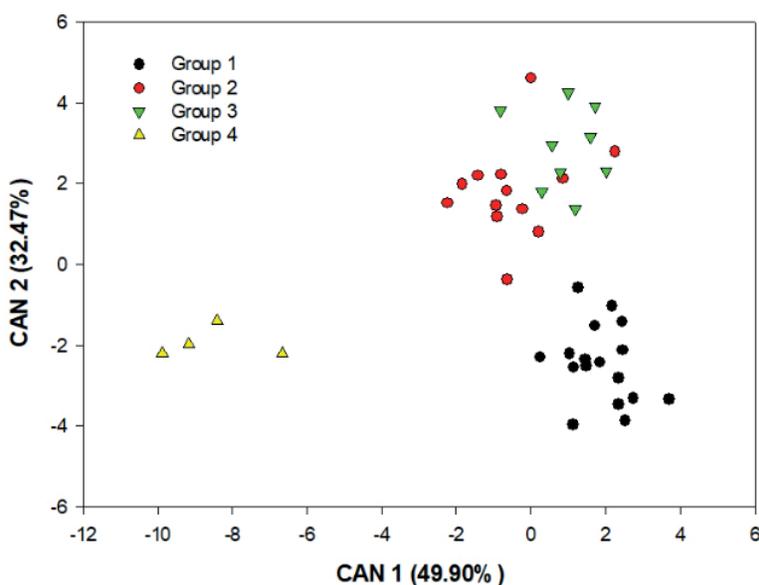
Figura 2. Gráfico das duas primeiras variáveis canônicas para os quatro grupos formados pela análise Ward-MLM em grãos e frutos de *Coffea canephora*.

A maior distância genética, foi observada entre os grupos I e IV, indicando situação favorável para realização de cruzamentos entre os genótipos desses grupos (Tabela 6 e Figura 2). A distância entre os genótipos do grupo IV com os demais grupos reforça a perspectiva de obtenção de genótipos produtivos e com grãos maiores com o cruzamento de indivíduos de grupos divergentes a fim de explorar a heterose.

Tabela 6. Distância entre os grupos formados pelo procedimento Ward-MLM para grãos e frutos de *Coffea canephora*, proposto por Franco et al., (1998)

Grupos	I	II	III	IV
I	0			
II	2.942.499	0		
III	3.538.909	2.587.098	0	
IV	10.988.678	9.027.114	11.471.734	0

O propósito desse trabalho foi selecionar genótipos que apresentam grãos maiores, com as melhores características agronômicas, visando assim agregar valor na comercialização dos grãos e frutos. Dessa forma, a seleção de genótipos superiores em relação a essas características, principalmente em relação ao tamanho dos grãos e frutos, poderá contribuir para o desenvolvimento de uma nova cultivar.

Correlação entre grãos e frutos

A análise de correlação fenotípica revelou correlações significativas positivas e negativas entre as variáveis, (Figura 3), sendo que nesse trabalho as correlações significativas foram observadas na classificação moderada e forte

Dentre os 45 pares de combinações para as dez variáveis geométricas avaliadas, 21 apresentaram correlação genotípica significativa a 1% de probabilidade, sendo que 17 foram positivas. Correlações genotípicas positivas indicam que a seleção objetivando ganho em uma característica provocará o mesmo efeito na outra. Essas informações podem facilitar o processo de seleção de características de difícil determinação e identificação, e que além disso, possa ter baixa herdabilidade.

As correlações positivas moderadas corresponderam a 6,66% do total, sendo estas, diâmetro máximo de grãos x diâmetro mínimo de grãos (0,57), diâmetro mínimo de grãos x diâmetro máximo de frutos (0,50), diâmetro máximo de grãos x diâmetro mínimo de frutos (0,53). Com esses valores fica claro que quanto maior o diâmetro máximo e mínimo dos frutos, maior será o diâmetro dos grãos.
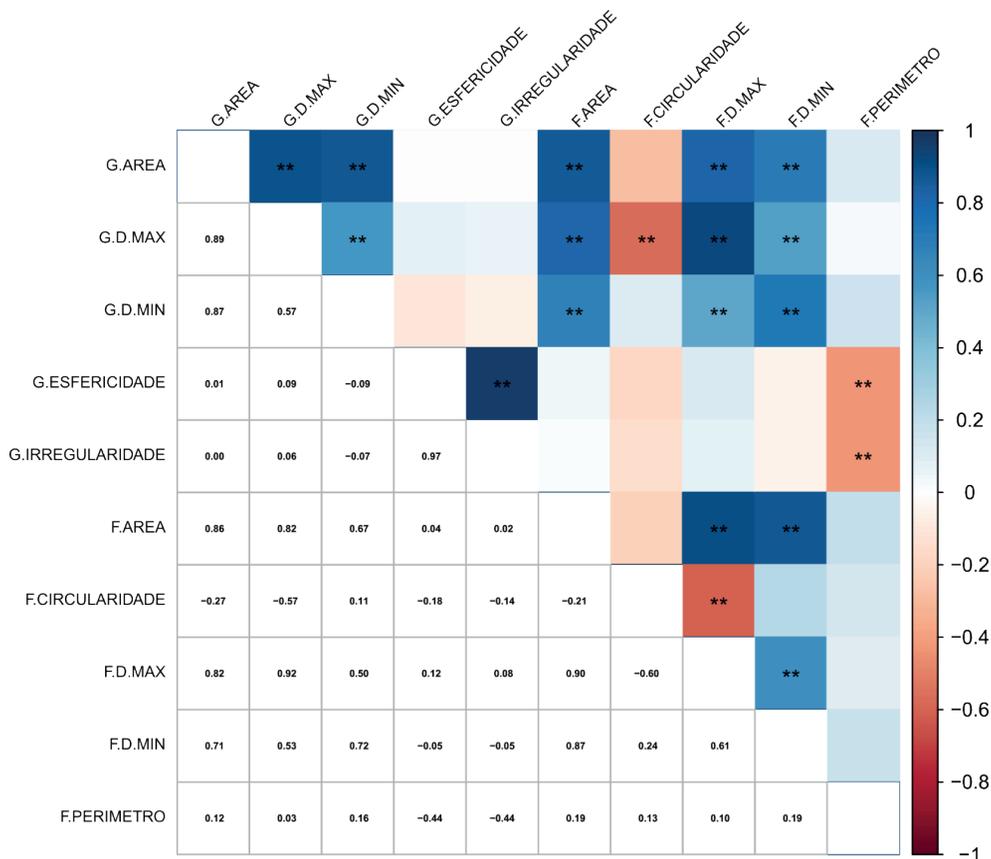
Figura 3: Correlação entre dez características geométricas de fenotipagem digital (G.ÁREA: área de grão; G.D.MAX: diâmetro máximo do grão; G.D.MIN: diâmetro mínimo do grão; G.ESFERICIDADE: esfericidade do grão; G.IRREGULARIDADE: irregularidade do grão; F.ÁREA: área do fruto; F.CIRCULARIDADE: circularidade do fruto; F.D. MAX: diâmetro máximo do fruto; F.D. MIN: diâmetro mínimo do fruto; F.PERÍMETRO: perímetro do fruto) de grãos e frutos de 43 genótipos de *C. canephora*. (* e ** correspondem a significância de p< 05, p< 01, respectivamente.

As correlações moderadas negativas foram encontradas nas variáveis esfericidade de grãos x perímetro de frutos (-0,44) e irregularidade de grãos x perímetro de frutos (-0,44). E, as correlações fortes e negativas foram encontradas nas variáveis diâmetro máximo de grãos x circularidade de frutos (-0,57) e circularidade de frutos x diâmetro máximo de frutos (-0,60). A circularidade é um fator mais sensível ao alongamento do objeto e com menor dependência à suavidade do contorno, valendo 1 para objetos circulares e menos que 1 para objetos de outras formas, pois qualquer outra forma que possua o mesmo diâmetro máximo possui menor área (Silva et al, 2021). Assim, a circularidade do fruto interfere no diâmetro máximo do grão, ou seja, quanto mais circular o fruto, menor será o seu diâmetro máximo. E, o perímetro do fruto interfere na esfericidade e na irregularidade dos grãos, ou seja, quanto maior o perímetro do fruto, menor vai ser sua esfericidade e irregularidade. Com isso, é possível selecionar os genótipos que apresentam destaque nas variáveis circularidade e perímetro.

Correlações fortes e positivas corresponderam a 8,88% do total, as correlações positivas evidenciam que o aumento da área, diâmetro máximo e mínimo, esfericidade e irregularidade influenciam no tamanho do grão e do fruto de *C. canephora*, podendo assim ser feita uma seleção de genótipos que apresentam grãos maiores, pois quanto maior o fruto, maior será o grão. Isso pode ser observado na correlação entre diâmetro máximo de frutos e diâmetro máximo de grãos (0,92), que é considerada uma correlação fortíssima. Em estudos de melhoramento, fortes correlações com características de interesse permitem a seleção indireta usando uma característica mais simples e menos onerosa para fins de avaliação (Reis et al., 2017) e (Nascimento-Júnior et al., 2018). Esses resultados indicam que essas características podem ser usadas a fim de selecionar materiais superiores em programas de melhoramento genético, a fim de se obter genótipos com grãos maiores que sejam mais atrativos para o mercado consumidor, já que o Conilon normalmente apresenta grãos menores e pouco chamativos quando é comercializado na forma de grãos.

Silva et al. (2021) estudando a diversidade genética em sementes de goiaba através de fenotipagem digital também encontraram correlação positiva da variável diâmetro máximo com diâmetro mínimo e perímetro, corroborando com os resultados encontrados nesse trabalho.

As correlações observadas para as variáveis de geometria de grãos e frutos extraídos do equipamento de análise digital contribuirá para a escolha de genótipos que possuem grãos maiores, pois essas correlações, principalmente entre área e diâmetro, que é mais difícil de mensurar de outras formas, pois de acordo com Marcos Filho (2015), a classificação simples como a medida do tamanho dos grãos realizada através de peneiras não é capaz de indicar o potencial produtivo das cultivares, sendo este um critério importante para a comercialização do café, e essas variáveis puderam ser avaliadas de forma precisa no equipamento, trazendo resultados confiáveis.

Com a utilização do sistema GroundEye® foi possível processar informações em relação ao tamanho dos frutos e grãos de *C. canephora*, que não seriam possíveis analisar a olho nu ou mesmo fazendo uso de paquímetros digitais. As informações extraídas do software do equipamento são de alta precisão, segurança e confiabilidade e não sofrem interferência do pesquisador. Além disso, ficam armazenadas em um banco de dados onde podem ser facilmente acessadas e analisadas.

Recomenda-se que a seleção seja realizada visando aumentar área, diâmetro máximo e mínimo, pois além do efeito positivo direto na produtividade, essas características contribuem de forma indireta para qualidade do grão de *C. canephora*, pois grãos maiores são visualmente mais atrativos e de maior qualidade para o consumidor.

CONCLUSÕES

As variáveis analisadas por meio da análise digital de sementes foram eficientes em detectar a divergência genética entre os 43 genótipos de *C. canephora.*

Os altos valores de herdabilidade observados para todas as variáveis indicam que a seleção é vantajosa para todas elas.

As variáveis que mais contribuíram para a divergência genética de frutos e grãos foram esfericidade, irregularidade e afinamento de grãos.

É possível indicar cruzamento entre os genótipos do Grupo I (AD1 e L80) e grupo IV (Clementino) de acordo com a análise de Ward-MLM, pois os mesmos apresentaram grãos com maiores extensões e esfericidades.

As variáveis área, diâmetro máximo e mínimo são as mais indicadas para realização da seleção para obtenção de genótipos de grãos maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, L.A.S.; Andrade, D.B.; Marques, E.R.; Assis, J.G.R.; Lopes, C.A.; Carvalho, M.L.M.C.(2016) Computerized analysis in the physiological quality of coffee seeds. *International Journal of Current Research,* 11(8):40820-40823.

Andrade, D.B, Oliveira, A dos S., Pinto, C.A.G., Pires, R.M.de O., (2016) Detection of green seeds in soybean lots by the seed analysis system (SAS). *International Journal of Current Research*, 26(8):462-465.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G.(2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711:728.

Bergo, C.L.L., et al. (2020) Estimation of genetic parameters and selection of *Coffea canephora* progenies evaluated in Brazilian Western Amazon. *Coffee Science*, 15:e151663.

CONAB. *Acompanhamento da Safra Brasileira: Café*. Boletim da Safra 2021 de café, v.8, n. Terceiro levantamento, p.59, 2021. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe.

Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. (2014) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3ed, Viçosa: Editora UFV, 2014, 560p.

Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. (2012) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Ed. UFV, 514p.

Ferrão, M. A.G., Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Verdin Filho, A.C., Volpi, P.S. (2019) *Origin, geographical dispersion, taxonomy and genetic diversity of Coffea canephora. In*: Ferrão, R.G, Fonseca, A.F.A, Ferrão, M.A.G. and DeMuner LH (eds) Conilon coffee. Incaper, Vitória, p. 85-110.

Ferreira, A.F.N., Krause, W., Faleiro, A.C., Miranda, A.F., Acha, A.J. (2018) Seleção de descritores de sementes de maracujazeiro azedoutilizando fenotipagem digital. *Conhecer*, 5(10):181-187.

Franco, J., Crossa J., Villasenõr, J., Taba, S. (1998) Classifying genetic resources by categorical and continuous variables. *Crop Science*, Madison, 38(6):1688-1696.

Gower J, (1971) “A general coefficient of similarity and some of its properties”, *Biometrics*, 27:857-872.

Krause, W., Viana, A.P., Cavalcante, N.R., Ambrósio, M., Santos, E.A., Vieira, H.D. (2017) Digital phenotyping for quantification of genetic diversity in inbred guava (*Psidium guajava*) families. *Genetic and Molecular Research,* 16:1-11.

Marcos Filho, J. (2015*) Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. (FEALQ. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz), Piracicaba, 2.ed., 495p

Moraes, M.S., Teixeira, A.L., Ramalho, A.R., Espíndula, M.C., Ferrão, M.A.G., Rocha, R.B. (2018) Characterization of gametophytic selfincompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. *Genetics and Molecular Research*, 17:1-10.

Nascimento-Júnior, I., Môro, G.V., Môro, F.V. (2018) Indirect selection of maize genotypes based on associations between root agronomic and anatomical characters. *Chil Journal of Agriculture Research,* 78:39-47.

Partelli, F.L., Oliosi, G., Dalazen, J.R., da Silva, C.A., Vieira, H.D., Espindula, M.C. (2021). Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. *Agronomy Journal*, 113(2):1050–1057.

Partelli, F.L., Oliosi, G., Farah, A., Paula, J., Oliveira, H. F., Salvador, H. P. (2022) Salutar: First cultivar bred for soluble coffee production and health. v.4:2. DOI: http://dx.doi.org/10.35418/2526-4117/v4n2a7

Ramalho A.R, Rocha R.B., Souza F.F., Veneziano W. et al. (2016). Genetic gain in the productivity of processed coffee from the selection of clones of ‘Conilon’ coffee. *Revista Ciencia Agronomica* 47(3):516-523.

Reis, M., Cardoso, D., Júnior, E.S., Gomes, B., Pereira, L., Gomes, D., Sousa, L. (2017) Research Article Correlation among traits as criterion of cotton genotypes indirect selection. *Genetic Molecular Research*, 16(4) gmr16039805

SAS Institute (2009). *Statistical Analysis System: User’s Guide*. SAS, Cary, 5140p.

Silva, C.C.A., Vieira, H.D, Viana, A.P, Azevedo, S.E., Quintas, M.M. (2021) Digital Phenotyping in Inbred Guava Lines: Seed Characterization. *Functinal Plant Breeding Journal*, 3(2):33-50.

Silva, F.H.L., Viana, A.P., Ferreira R.T., Freitas, J.C.O., Santos, J.O., Rodrigues, D.L. (2014) Measurement of genetic diversity in progenies of sour passion fruit by Ward-MLM methodology: a strategy for heterotic group formation. *Ciência e Agrotecnologia*, 38:240-246.

Venora, G., Grillo, O., Shahin, M.A., Symons, S.J. (2007) Identification of Sicilian landraces and Canadian cultivars of lentil using an image analysis system. *Food Research International*, 40:161-166.

Silva, G.O., Carvalho, J.O.M., Vieira, J.V., Carvalho, A.D.F. (2014) Parâmetros genéticos para germinação de sementes e produção de raízes de cenoura sob altas temperaturas. *Magistra*, 26:524-531.

ARTIGO: MAGNUS GRANO: QUALIDADE MÁXIMA EM TAMANHO DE GRÃOS

RESUMO

A cultivar Magnus Grano é composta por cinco genótipos que foram selecionados por cafeicultores no Estado do Espírito Santo, Brasil. A cultivar apresenta altas produtividades, os grãos apresentam tamanhos maiores e os genótipos mostram boa adaptação às condições de cultivos.

ABSTRACT

The cultivar Magnus Grano is composed of five genotypes that were selected by coffee growers in the State of Espírito Santo, Brazil. The cultivar has high yields, the grains are larger and the genotypes show good adaptation to growing conditions.

INTRODUÇÃO

O *Coffea canephora* apresenta grande diversidade genética, o que permite novas oportunidades para o cultivo e uso dessa espécie. Além disso, a cafeicultura tem passado por constantes inovações, com foco no manejo, produtividade, sustentabilidade, qualidade e também no consumo, o que demanda novas tecnologias.

Diariamente, milhares de pessoas espalhadas pelo mundo inteiro consomem café, e essa bebida carrega consigo diferentes nuances e características, e devido a isso o mercado está sempre à procura de novas maneiras de ofertá-lo, seja ele por blends, café expresso ou gourmet, sendo que ele pode ser ofertado de forma moída ou em grãos.

O Brasil apresenta destaque no cenário mundial como o maior produtor mundial de café (CONAB, 2022), e o café Conilon vem ganhando cada vez mais espaço no mercado mundial, pois com a forte valorização do café arábica em 2021 houve uma demanda ainda maior do café Conilon (CONAB, 2023). Uma particularidade que pode ser observada é a demanda crescente por cafés Conilon de qualidade, um mercado até então pouco explorado. Com o melhoramento genético, melhoria nas técnicas de colheita e beneficiamento, o mesmo passou a ser apreciado e o mercado tem buscado esse café (COOPEAVI, 2022).

O café Conilon ainda possui um grande espaço a ocupar, pois o mesmo pode apresentar uma bebida diferenciada, com características sensoriais próprias ao invés de atuar apenas na produção de blends (Vignoli; Bassoli; Benassi, 2011). E, para que seja ofertado um produto com maior qualidade é necessário observar o conjunto de processos que vão desde o desenvolvimento e melhoramento das variedades, manejo e os cuidados com a colheita e pós-colheita.

O mercado de cafés especiais tem crescido ao redor do mundo e um dos critérios usados para classificar um café verde como especial é a análise de acordo com a

uniformidade do grão, que é feita através da utilização de diferentes peneiras, cor, forma e tipos de grãos. A classificação por peneiras é um processo importante para garantir a qualidade do café, e um dos principais motivos para essa separação é a diferença na uniformidade no momento da torração do café, pois os grãos menores tendem a torrar em tempos diferentes dos grãos maiores (Oliveira et al. 2014), e, com isso, a separação por peneiras melhora a execução da torra, melhorando a qualidade do café (Baggenstoss et al., 2008; Pereira et al., 2019).

Diversos procedimentos têm sido implementados com a finalidade de incentivar o consumo de café entre diferentes camadas sociais, para Spers et al (2004) o estímulo que tem surgido na melhoria da qualidade do produto tem colaborado para novas formas de consumo. Segundo Lucia et al. (2007), o consumidor fundamenta sua escolha para comprar e consumir determinado produto em diferentes critérios e níveis de importância. Dentre esses fatores, o tamanho do grão do café está diretamente ligado à qualidade física buscada pelos consumidores que têm preferência por comprar o grão e moer ao invés de comprar o café moído. Pretendendo atender a estes consumidores, os produtores brasileiros começaram a se preocupar em produzir cafés com qualidade superior, incluindo o tamanho dos grãos.

A oferta do café em grãos é a forma mais original do café, ou seja, os grãos só passaram pelo processo de torrefação até chegar ao consumidor. Como o café é um produto muito sensível ao oxigênio, o mesmo oxida muito rápido, principalmente quando já está moído, e por isso, quando ele está na forma de grãos ele preserva o sabor e aroma original, além de ter uma vida útil maior em relação ao café já moído.

Assim, trabalhos sobre diferentes genótipos, realizados por meio de ensaios de competição no campo, somados a diversas análises da planta e análises laboratoriais de grãos e que possibilitem a obtenção de cultivares que apresentem grãos maiores para oferecer um produto final de maior qualidade são de fundamental importância para dar continuidade ao trabalho que já vem sendo desenvolvido de forma prática por cafeicultores. Este processo de seleção tem apresentado resultados muito promissores.

MÉTODOS

O plantio da lavoura de café foi composto por 42 genótipos propagados por estaca, iniciado o cultivo em abril de 2014 no município de Nova Venécia, Espírito Santo, a aproximadamente 200 metros de altitude. A área experimental está localizada na Latitude: 18° 39' 43" S, Longitude: 40° 25' 52"W (Figura 1). A região é caracterizada por um clima classificado como Aw, ou seja, tropical com inverno seco e verão chuvoso. Em geral, a temperatura média das mínimas fica acima de 16°C (meses de julho e/ou agosto) e média das máximas de até 32°C nos meses de janeiro e/ou fevereiro (Figura 1). Eventualmente ocorrem dias com temperatura inferior a 13°C ou superior a 36°C.

Foi utilizado delineamento em blocos casualizados, com três repetições de campo, sendo cada repetição composta por sete plantas. Foram realizadas adubações conforme a análise de solo. O espaçamento utilizado para plantio foi de 3,0m x 1m, ocupando 3,0 m^2 por planta. Foram realizadas podas para controle de ramos excessivos, mantendo o padrão de 12.000 a 15.000 hastes por hectare. Em todos os anos experimentais foram realizadas, uma capina manual (trilhar no local de adubação), uma capina mecanizada e uma capina química. Foram aplicados nutrientes, inseticidas e fungicidas, durante os anos de estudo.

A área experimental foi irrigada durante todos os anos. Para analisar a estabilidade e adaptabilidade dos materiais genéticos avaliados neste estudo foram utilizados dados de produtividade correspondentes a seis colheitas (2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021).

Para realizar a caracterização dos grãos por meio da fenotipagem digital os frutos foram despolpados manualmente, em seguida os grãos ainda com o pergaminho foram colocados para secar em bandejas de plástico até atingirem 14 a 15% de umidade, determinada com o auxílio do determinador de umidade DOLE 500. Posteriormente foi feita a retirada do pergaminho de cada um dos grãos com auxílio de bisturi e estilete, e em seguida os mesmos foram acondicionados em sacos de papel devidamente identificados para secagem em estufa de circulação forçada de ar até atingirem 12% de umidade (base úmida).
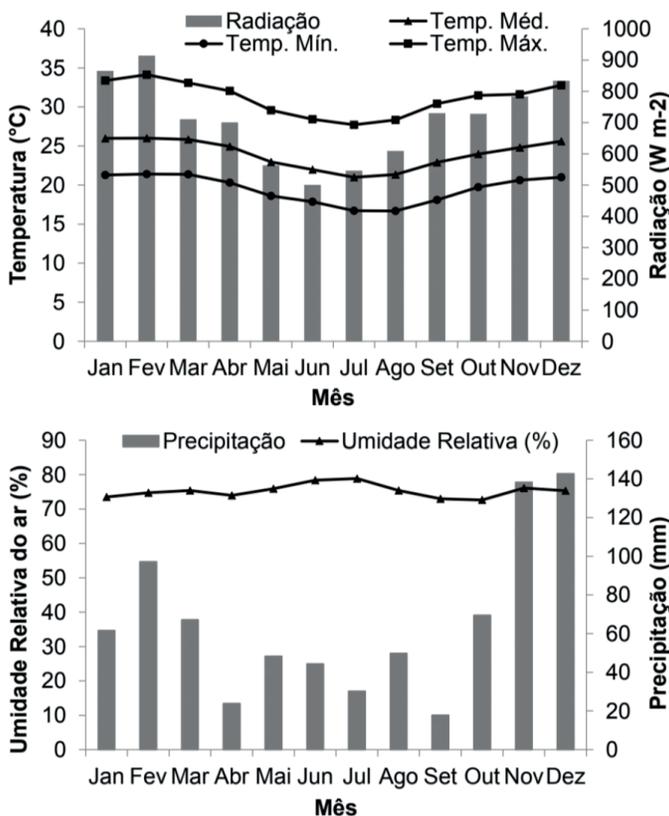
Figura 1. Valores médios de radiação solar e temperatura máxima, média e mínima do ar (A) e umidade relativa do ar e precipitação (B) em seis safras (2014 – 2020), registradas na estação meteorológica de Nova Venécia-ES.

Com o auxílio do equipamento GroundEye®, foram avaliadas quatro repetições de 50 grãos para cada tratamento, os grãos foram dispostos em bandeja acrílica para a captura da imagem, em seguida, por meio do sistema de análise de imagens o software gerou planilhas com os resultados das características geométricas: área (cm²), circularidade, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, esfericidade, extensão, irregularidade, número de quinas, perímetro (cm), dentre outras características apresentadas nas tabelas 1 a 3.

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO

Dentre todos os materiais avaliados no ensaio, considerando características como média do peso do grão, média da área do grão, média do maior diâmetro do grão, alta produtividade, arquitetura da planta, vigor e resistência a pragas e doenças, foram selecionados cinco genótipos julgados superiores (Bicudo, Graudão HP, Ouro Negro, P1 e Peneirão), para constituir a nova cultivar clonal, denominada de MAGNUS GRANO. A média do peso do grão foi de 0,19 g, enquanto a média dos demais genótipos foi de 0,13 g. A média da área do grão foi de 0,49 cm², enquanto a média dos demais foi de 0,37 cm². A média do maior diâmetro do grão foi de 0,93 cm, enquanto a média dos demais foi de 0,80 cm. A média das seis colheitas dos seis genótipos selecionados foi de 98,4 sacas por hectare por ano. Os demais genótipos apresentaram uma média de 85,9 sacas por hectare por ano. Os dados sobre os genótipos de forma individualizada e médias da Cultivar e do restante dos genótipos avaliados encontram-se nas Tabelas 1 a 3.

Durante os oito anos de avaliação foi verificada a boa adaptação dos genótipos às condições de cultivo, visto seu bom desempenho em crescimento e produção. Não foi verificado ataque severo das principais pragas e doenças que acometem o cafeeiro Conilon, sendo que as plantas se mantiveram vigorosas e com bom enfolhamento. Registra-se que em 2015 a área recebeu pouca água (irrigação), pois houve uma das maiores secas da história da região e o agricultor tinha pouca disponibilidade de água para irrigação, o que afetou, principalmente, a produtividade de 2017 (segunda colheita).

Dessa forma, a nova cultivar (variedade), apresenta características desejáveis, sobretudo, peso elevado e tamanho do grão (maior tamanho de peneira – que tem valor agregado na qualidade), somados a alta produtividade para as condições do norte do Estado do Espírito Santo, o que permitirá grande aceitação entre os cafeicultores, podendo ser cultivado em condições climáticas similares às que foram cultivadas (aproximadamente 200 metros de altitude). Portanto, recomendada para o Estado do Espírito Santo em altitude inferior a 500 metros. Destaca-se também que foram realizadas diversas caracterizações de frutos e grãos.

Tabela 1. Média do peso do grão, média da área total do grão, média do maior diâmetro dos grãos chatos a 12% de umidade, produtividade média acumulada nas safras de 2016 a 2021 e período de maturação dos genótipos que compõem a cultivar

Genótipos	Peso do grão	Área do grão	Diâmetro máximo	Produtividade	Maturação
	gramas	cm^2	cm	sc ha^{-1}	
Bicudo	0,170	0,487	0,971	111,84	Média
Graudão HP	0,166	0,451	0,948	88,19	Média
Ouro Negro	0,210	0,516	0,891	87,57	Média
P1	0,177	0,479	0,915	98,41	Média
Peneirão	0,204	0,497	0,907	105,79	Média
Média/Cultivar	0,1854	0,4860	0,9263	98,36	-
Média/demais	0,1338	0,3746	0,7992	85,95	-

Tabela 2. Média do diâmetro mínimo, esfericidade, extensão, irregularidade, número de quinas, perímetro, afinamento e circularidade de grãos chatos a 12% de umidade dos genótipos que compõem a cultivar

Genótipos	D.min	Esf.	Ext.	Irreg.	Quin.	Per.	Afin.	Circ.
	cm		-	-	Núm.	cm	-	-
Bicudo	0,63	22,0	0,78	0,09	316	3,20	0,65	0,66
Graudão HP	0,59	30,4	0,79	0,12	125	3,49	0,56	0,64
Ouro Negro	0,72	21,5	0,79	0,09	298	3,24	0,68	0,83
P1	0,66	16,9	0,79	0,05	115	2,83	0,76	0,73
Peneirão	0,69	26,9	0,78	0,12	260	3,53	0,58	0,77
Média/Cultivar	0,657	23,55	0,784	0,093	222,7	3,260	0,645	0,725
Média/demais	0,583	20,83	0,787	0,079	187,7	2,713	0,691	0,747

Tabela 3. Média da quantidade de kg (Kg/saca) e litros (L/Saca) de café maduro para se obter uma saca beneficiada de 60kg, relação peso maduro/peso seco (PM/PS), relação volume maduro/peso maduro (VM/PM), % de grão em relação ao fruto e porcentagens de grão chato e moca a 12% de umidade dos genótipos que compõem a cultivar

Genótipos	*Kg/saca	*L/saca	*PM/PS	*VM/PM	*Grão	G.Chato	G.Moca
	kg	Litros	Relação	Relação	%	%	%
Bicudo	231	366	3,85	1,58	55,3	58,5	41,6
Graudão HP	206	318	3,44	1,54	59,5	88,5	11,5
Ouro Negro	225	346	3,74	1,54	55,3	90,3	9,7
P1	220	332	3,66	1,51	59,1	62,6	37,4
Peneirão	215	327	3,59	1,52	57,1	85,7	14,3
Média/Cultivar	219,4	337,9	3,656	1,538	57,27	77,11	22,89
Média/demais	223,9	348,9	3,732	1,779	57,35	84,26	16,81

* Dados completos publicados por Partelli et al. (2021). Agronomy Journal, 2021. DOI: 10.1002/agj2.20617.

Figura 1. Vista/localização da lavoura. Imagem de setembro de 2019 (A) e julho de 2021 (B). Retângulo abaixo da seta. Latitude: 18° 39' 4" S, Longitude: 40° 25' 52" W.

CLONE DE MANUTENÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

A Cultivar Magnus Grano foi registrada com o número 52460 pelo Registro Nacional de Cultivares (Registro Nacional de Cultivares, RNC), pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) é responsável pela manutenção dos cinco genótipos que constituem a cultivar Magnus Grano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baggenstoss, J., Poisson, L., Kaegi, R., Perren, R., Escher, F. (2008) Coffee roasting and aroma formation: Application of different time-temperature conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14):5836–5846.

Companhia Nacional do Abastecimento. *Acompanhamento da Safra Brasileira*. Boletim da Safra 2021, v. 9, n. Terceiro levantamento, p. 60, 2022. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/.

Conab. Acompanhamento da Safra Brasileira: Café. *Boletim da Safra 2021 de café*, v. 8, n. Terceiro levantamento, p. 59, 2021. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe.

Coopeavi. 2013. Disponível em: http://coopeavi.coop.br/?noticias/0/ 1584/Cresce_a_demanda_por_cafe_Conilon_especial. Acesso em: 9 ago. 2022.

Lucia, S.M.D., Minim, V.P.R., Silva, C.H.O., Minim, L.A. (2007) Fatores da embalagem de café orgânico torrado e moído na intenção de compra do consumidor. *Ciência Tecnologia de Alimentos*. Campinas, 27(3):485-491.

Oliveira, G.H.H., Corrêa, P.C., Santo, F.L., Vasconcelos, W.L., Calil Júnior, C., Machado, F.B., Vargas, G.A.E. (2014) Caracterização física de café após torrefação e moagem. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(4):1813-1827.

Partelli, F.L., Oliosi, G., Dalazen, J.R., da Silva, C.A., Vieira, H.D., Espindula, M.C. (2021). Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea Canephora*. *Agronomy Journal*, 113(2):1050–1057.

Pereira, L.L., Moreli, A.P., Júnior, D.B., Sousa, L.H.B.P.S., Marcate, J.P.P., Oliveira, G.F. de O., Debona, D.G., Guarçoni, R.C. (2019) Construção de perfil sensorial para o café Conilon fermentado. *Ciência*, 5(2):242–252.

Vignoli, J.A., Bassoli, D.G., Benassi, M.T. (2011) Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 124(3):863-868.

Spers, E.E., Saes, M.S.M., Souza, M.C.M. (2004) Análise das preferências do consumidor brasileiro de café: Um estudo exploratório dos mercados de São Paulo e Belo Horizonte. *Revista de Administração*, São Paulo, 39(1):53-61